

# ARBEITSBERICHT

aus dem Institut für Weltforstwirtschaft

Nr. 2011/03

## Potenziale zur Vermeidung von Emissionen sowie der zusätzlichen Sequestrierung im Wald und daraus resultierenden Fördermaßnahmen

Joachim Krug, Wolf-Ulrich Kriebitzsch,  
Konstantin Olschofsky (WFW)  
Andreas Bolte, Heino Polley, Wolfgang Stümer,  
Joachim Rock, Katja Öhmichen, Franz Kroiher,  
Nicole Wellbrock, Thomas Riedel (WOI)



Institut für Weltforstwirtschaft (WFW)

Institut für Waldökologie und Waldinventuren (WOI)



**Potenziale zur Vermeidung von Emissionen sowie der zusätzlichen Sequestrierung im Wald und daraus resultierenden Fördermaßnahmen**

**Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz**

Joachim Krug, Wolf-Ulrich Kriebitzsch, Thomas Riedel, Konstantin Olschofsky (WFW)

Andreas Bolte, Heino Polley, Wolfgang Stümer, Joachim Rock, Katja Öhmichen, Franz Kroiher, Nicole Wellbrock (WOI)

Hamburg, 25.02.2010

Dr. Joachim Krug, Dr. Wolf-Ulrich Kriebitzsch, Dr. Thomas Riedel (ab Juli 2010: WOI) und Konstantin Olschofsky sind wissenschaftliche Mitarbeiter des Instituts für Weltforstwirtschaft (WFW) des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI). Prof. Dr. Andreas Bolte ist Leiter des Instituts Waldökologie und Waldinventuren (WOI), Dr. Heino Polley, Dr. Wolfgang Stümer, Dr. Joachim Rock, Dr. Katja Öhmichen, Franz Kroiher und Dr. Nicole Wellbrock sind wissenschaftliche Mitarbeiter des Instituts für Waldökologie und Waldinventuren des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI). Die vorliegende Studie entstand im Frühjahr 2010 im Zuge einer Anfrage des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

Adresse: Johann Heinrich von Thünen-Institut  
Institut für Weltforstwirtschaft  
Leuschnerstr. 91  
21031 Hamburg  
Telefon: (49) 40 73962 141  
Email: [joachim.krug@vti.bund.de](mailto:joachim.krug@vti.bund.de)

Die *Arbeitsberichte aus dem Institut für Weltforstwirtschaft* stellen vorläufige, nur eingeschränkt begutachtete Berichte über Arbeiten aus den beteiligten Instituten des Johann Heinrich von Thünen-Instituts dar. Die in den Arbeitsberichten geäußerten Meinungen spiegeln nicht notwendigerweise die der Institute wider. Kommentare sind erwünscht und sollten direkt an die Autoren gerichtet werden.

Der vorliegende Arbeitsbericht kann unter <http://www.vti.bund.de/de/startseite/vti-publikationen/> kostenfrei heruntergeladen werden.

## Inhaltsverzeichnis

0. Vorbemerkungen und Eingrenzungen .....	4
1. Wo ergeben sich im Forstsektor nennenswerte Emissionen? .....	5
1.1. Nachhaltige Forstwirtschaft im Bereich der terrestrischen und semiterrestrischen Böden	5
1.2. Nachhaltige Forstwirtschaft auf organischen Böden und anmoorigen Böden.....	7
1.3. Emissionen durch Bewirtschaftungsverzicht.....	8
1.4. Emissionen durch Altersklasseneffekte .....	10
1.5. Sicherung bestehender Speicher.....	13
2. Welche Möglichkeiten zur zusätzlichen Sequestrierung gibt es prinzipiell? .....	15
2.1. Änderungen der Speicherleistung durch veränderte Bewirtschaftung .....	15
2.1.1. <i>Bedeutung der Produktions- oder Senkenleistung und des Vorrats als Speicher</i>	15
2.1.2. <i>Bewirtschaftungsstrategie</i> .....	15
2.1.3. <i>Bewirtschaftungsmaßnahmen (Vorratsaufbau, Überführung, Baumartenwechsel, Umtriebszeitveränderung, Totholzanteil, Bestandesdichte)</i> .....	17
2.2. Flächenveränderung.....	24
2.2.1. <i>Flächenerhalt / vermiedene Entwaldung</i> .....	24
2.2.2. <i>Aufforstung</i> .....	25
3. Resultate .....	29
3.1. Vergleichender Überblick .....	29
3.2. Empfohlene Fördermaßnahmen .....	30
3.3. Anstehender Forschungsbedarf.....	32

## 0. Vorbemerkungen und Eingrenzungen

Während die Landwirtschaft erheblich zum Eintrag von klimarelevanten Treibhausgasen (THG) und hier vor allem von Stickstoff-Verbindungen und Methan in die Atmosphäre beiträgt, ist zwar im weltweitem Maßstab die Entwaldung eine der größten Emissionsquellen für Kohlendioxid, betroffen sind hier aber in erster Linie tropische Entwicklungsländer.

Die in Deutschland und weiten Teilen Europas betriebene nachhaltige Forstwirtschaft bewirkt infolge einer positiven Waldflächenbilanz keine nennenswerten Emissionen des Treibhausgases CO<sub>2</sub>. Emissionen von anderen klimawirksamen Gasen aus Wäldern sind zu vernachlässigen. Ursachen für Waldumwandlungen liegen in Deutschland i.d.R. außerhalb des forstlichen Verantwortungsbereiches (z.B. Flächenbedarf für Siedlungen und Verkehrswege) und sind durch forstliche Maßnahmen nicht zu beeinflussen.

Allerdings können auch nachhaltig bewirtschaftete Wälder in Deutschland einschließlich ihrer Böden durch Holznutzung oder Katastrophen (Stürme, Feuer) zu Kohlenstoffquellen werden. Auf die Fläche Deutschlands bezogen werden diese Emissionen allerdings per Saldo durch den Zuwachs auf den aufgeforsteten Flächen sowie auch in den existierenden Wäldern derzeit noch kompensiert. Wälder in Deutschland sind daher insgesamt eine Nettosenke für Kohlenstoff (Nationaler Inventarbericht, UBA 2010:668 ff.)<sup>1</sup>. Der durch die Holzernte entnommene Kohlenstoff wird zudem zu erheblichen Teilen längerfristig in Holzprodukten gespeichert bzw. dient der Substitution emissionsintensiver fossiler Energiequellen und Baustoffe.

Damit entfällt für den Forstbereich in Deutschland weitestgehend die Möglichkeit, die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren (soweit dies durch eine Umstellung von Produktionsverfahren bei gleichbleibenden Produktionszielen erfolgen kann). Gleichwohl sind im Forst- und Holzsektor Potentiale zur zusätzlichen Kohlenstoffsequestrierung gegeben.

Für die weiteren Ausführungen müssen die folgenden Eingrenzungen beachtet werden:

- a) Die Ausführungen beziehen sich auf Wirtschaftswälder. Da in Deutschland keine Urwälder existieren können lediglich Vergleiche zu naturbelassenen Wäldern gezogen werden.

---

<sup>1</sup> Die derzeit vorliegenden Daten erlauben eine Schätzungen der Kohlenstoffveränderungen in der Biomasse, und für Totholz. Für Streu und Böden liegen aktuell noch keine belastbaren Schätzungen vor; im Nationalen Inventarbericht wird angenommen, dass sich diese Vorräte unter bestehendem Wald nicht ändern. CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Kalkung von Waldböden betragen zwischen ca. 65 (2008) und 208 Gg CO<sub>2</sub> pro Jahr (1992) mit abnehmender Tendenz. Eine Stickstoffdüngung von Wäldern ist in Deutschland nicht üblich. Über die Drainage von mineralischen Böden gibt es keine Flächenangaben. Es kann davon ausgegangen werden, dass dies nicht stattfindet. Die Waldbrandflächen in Deutschland und damit auch die dabei entstehenden CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Gasmengen sind gering. So liegen die CH<sub>4</sub>-Emissionen zwischen 0,03 und 0,43 Gg und die N<sub>2</sub>O-Emissionen zwischen 0,0005 und 0,0067 Gg. Das flächige Abbrennen von Vegetationsdecken ist in Deutschland verboten.

- b) Senken und Quellen von Treibhausgasen werden „aus Sicht der Atmosphäre“ bewertet, Aspekte der Anrechenbarkeit unter gegebenen oder erwarteten Vereinbarungen werden hier nicht diskutiert aber bei Bedarf gerne nachgereicht.
- c) Prinzipiell kann die Speicherung von Treibhausgasen (in Kohlenstoffdioxid-Äquivalenten, CO<sub>2</sub>e) in den forstlichen Pools der ober- und unterirdisch lebenden Biomasse, Totholz, Streu, Humusauflage und organischem Kohlenstoff im Boden nur als vorübergehend bewertet werden. Im Mineralboden von Wäldern werden nur ca. 10 % des Bodenkohlenstoffpools als inerter Pool („black carbon“) dauerhaft gespeichert. Der restliche Kohlenstoff im Mineralboden und in den Mooren liegt als organischer Kohlenstoff vor und hat eine entscheidende Rolle für die Funktion von Böden in Waldökosystemen. Ein unbestimmter Anteil liegt schwerverfügbar im Boden vor<sup>2</sup>.
- d) Die energetische und materielle Substitution von fossilen Emissionen durch Holzprodukte kann als dauerhaft klimarelevant betrachtet werden.
- e) Punkt c) folgend und unter Berücksichtigung der forstlichen Produktionszyklen wird im Weiteren zwischen kurzfristigen (Zeithorizont unter 20 Jahre) und langfristigen (über 50 Jahre) Auswirkungen unterschieden.

## 1. Wo ergeben sich im Forstsektor nennenswerte Emissionen?

### 1.1. Nachhaltige Forstwirtschaft im Bereich der terrestrischen und semiterrestrischen Böden

Unter Voraussetzung einer nachhaltigen Forstwirtschaft und den dabei zu beachtenden Zeiträumen entstehen in Wäldern, die auf mineralischen Böden wachsen, keine nennenswerten Nettoemissionen. Einschränkungen müssen allenfalls durch gelegentliches Verbrennen von Abraum und eine Vollbaumnutzung<sup>3</sup> gemacht werden.

#### **Erklärung:**

Der Grundsatz der nachhaltigen Forstwirtschaft beinhaltet die unmittelbare Wiederbewaldung beernteter Flächen und somit den Wiederaufbau der Kohlenstoffvorräte. Für die Beurteilung der Kohlenstoffbilanzen sollten dabei vollständige Produktionszyklen betrachtet werden. Emissionen aus dem Einsatz von bewirtschaftungsbedingten Energiequellen (Maschinen, Verwaltung etc.) werden in der Gesamtbilanz als vernachlässigbar eingestuft, zumal die Biodieselnutzung den Anteil der Emissionen aus fossilen Energiequellen weiter reduziert.

---

<sup>2</sup> Wie hoch dieser Anteil ist, hängt von den Standortsbedingungen ab. Es ist bisher nicht versucht worden, den Anteil flächendeckend zu quantifizieren. Die Humusauflage und der Mineralboden befinden sich in nachhaltig bewirtschafteten Wäldern im Gleichgewicht miteinander. Wenn Kohlenstoff durch Veränderungen der Umweltbedingung in der Humusauflage abgebaut wird, reichert sich dieser teilweise im Mineralboden an. Andererseits bestimmen die Eigenschaften des Mineralbodens (z.B. pH-Wert) die biologische Aktivität in der Humusauflage mit.

<sup>3</sup> Vollbaumnutzung zählt nicht zur derzeit üblichen Auffassung von nachhaltiger Forstwirtschaft.

Erntebedingte Verluste der Kohlenstoffvorräte eines Bestandes können in drei Kategorien eingestuft werden: Holzprodukte, Schnittverluste bzw. Ernteabfall und Abbau von Bodenkohlenstoff.

**Holzprodukte** werden in irgendeiner Form weiter genutzt. Ihre Kohlenstoffvorräte werden damit einem anderen Vorrats-Pool zugerechnet und nicht als Emissionen bewertet (Bezug: HWP-Erlass vom „Quantifizierung des CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzials von Holzprodukten“, Stellungnahme des vTI auf Anfrage des BMELV, Ref. 532 vom 17.02.2010).

**Schnittverluste und Ernteabfälle** gehen in den Pool Streu und Totholz über. Inwieweit und unter welchen Bedingungen und Zeiträumen diese Vorräte in Humus und Bodenkohlenstoff eingearbeitet oder rasch als CO<sub>2</sub> freigesetzt werden, ist noch nicht hinreichend geklärt. Ein Verbrennen von Abraum führt allerdings zu sofortigen Emissionen<sup>4</sup>.

**Kohlenstoff in der Humusaufgabe und dem Mineralboden** kann durch erhöhten Lichtgenuss und dadurch erfolgreicher Erwärmung des Bodens im Zuge der Baumernte vermehrt freigesetzt werden<sup>5</sup>. Die Abnahme des Bodenkohlenstoffvorrates z.B. nach Kahlschlag ist nach Harrison et al.<sup>6</sup> allerdings bei vergleichbarer Neubestockung innerhalb von 30-60 Jahren (abhängig von den Standortfaktoren) nahezu vollständig reversibel. Eine sofortige Wiederbewaldung kann zudem die vorübergehenden Verluste auf 5 % minimieren. Erntebedingte Verluste von Kohlenstoff im Mineralboden können aber insbesondere durch e. g. Voranbau weitestgehend vermieden bzw. frühzeitig kompensiert werden.

Die Vollnutzung von Bäumen (Entnahme der gesamten ober- und unterirdischen Biomasse) spielt in der Waldbewirtschaftung derzeit nur eine geringe Rolle, die Bedeutung kann aber durch Inbetriebnahme von zahlreichen Biomasse-Heizkraftwerken zunehmen, da die Nachfrage nach Biomasse deutlich steigen kann. Vollbaumnutzung ist allerdings mit erheblichen Nährstoffexporten und dadurch Zuwachsverlusten verbunden und daher überaus problematisch und kann auch nicht als Maßnahme einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung bezeichnet werden. Mit einer Vollbaumnutzung verbundene C-Verluste des Kohlenstoffkreislaufs von Waldböden können noch nicht quantifiziert werden.

---

<sup>4</sup> Ein Verbrennen von Abraum ist nicht üblich, mag aber situationsbedingt (Vermeidung von Feuer oder Insekten-Kalamitäten) notwendig sein. Wird Abraum zur Energiegewinnung verbrannt, muss hier wiederum der positive Substitutionseffekt berücksichtigt werden (mit eventuell negativer Auswirkung auf den Bodenkohlenstoffhaushalt).

<sup>5</sup> Grundsätzlich befindet sich der Kohlenstoffkreislauf von Waldböden im Gleichgewichtszustand solange sich die Umweltbedingungen nicht ändern. Für den Boden bedeutet dies, dass sich der pH-Wert, Temperatur sowie Wasserhaushalt nicht gravierend ändern. Durch Kalkung kommt es zu einer Erhöhung des pH-Wertes und somit zu einer erhöhten biologischen Aktivität. Diese führt zu erhöhten Umsatzraten insbesondere in der Humusaufgabe, ein Teil des Kohlenstoffs wird in die Mikrobiomasse eingearbeitet, ein Teil wird veratmet und der Rest wird in den Mineralboden verlagert. Die grundwassernahen (z.B. Gleye) oder staunassen Standorte (z.B. Pseudogleye) sind sensitiv gegenüber Veränderungen des Wasserhaushaltes. Waldumbau z.B. von Nadel- zu Laubwald kann auch zu einer Veränderung des Kohlenstoffvorrates führen. In Nadelwäldern ist ein großer Teil des organischen Kohlenstoffs in der Humusaufgabe gespeichert. Wenn vermehrt leichtabbaubare Laubstreu auf den Boden fällt, ändert sich die biologische Aktivität und es wird mehr Kohlenstoff in den Mineralboden verlagert und in einen schwerer verfügbaren Pool überführt.

<sup>6</sup> Harrison AF, Howard PJA, Howard DM, Howard DC and Hornung M, 1995: Carbon storage in forest soils. Institute of Terrestrial Ecology, Merlewood Research Station, Cumbria LA11 6JU, England.

### **Beurteilung:**

Unter Berücksichtigung des in Deutschland diskutierten Kahlschlagverbots<sup>7</sup> und des im Laufe der Bestandesentwicklung natürlichen Wiederaufbaus der Bodenkohlenstoffvorräte nach einem Einschlag können Verluste von Bodenkohlenstoff im Zuge der nachhaltigen Forstwirtschaft auf mineralischen Böden in Deutschland vernachlässigt werden. Es sind aber gravierende Störung des Gleichgewichtes durch schnelle Veränderungen der Standortverhältnisse (Bodenreaktion, Wasserhaushalt usw.) zu vermeiden. Belastbare Aussagen über die Auswirkung der Vollbaumnutzung auf den Bodenkohlenstoffhaushalt liegen zurzeit noch nicht vor, sind aber nach Auswertung der BZE II in den nächsten Jahren zu erwarten.

### **1.2. Nachhaltige Forstwirtschaft auf organischen Böden und anmoorigen Böden**

Abweichend zu 1.1. können auch langfristig CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen, wenn in Wäldern auf organischen Böden (z.B. Moorböden) oder mit mächtigen organischen Auflagen (Anmoorböden) im Zuge der Bewirtschaftung die Standortbedingungen verändert werden (z.B. durch Entwässerung).

### **Erklärung:**

Eingriffe in die ökologischen Bedingungen von Feuchtwäldern (z.B. bei der Nutzung von Moorstandorten zu forstwirtschaftlichen Zwecken) können zu einer erheblichen Freisetzung von Treibhausgasen führen: Bei Entwässerung von Moorstandorten nehmen üblicherweise CH<sub>4</sub>-Emissionen ab und CO<sub>2</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen zu. Eine Renaturierung führt dagegen zu reduzierten CO<sub>2</sub>- und N<sub>2</sub>O-Ausgasungen mit intensivierter (aber numerisch marginaler) CH<sub>4</sub>-Ausgasung<sup>8</sup> und einer langfristigen Bindung von abgestorbener Biomasse. Eine Renaturierung von Feucht- und Moorstandorten kann also langfristig zu einer erheblichen Anreicherung von Bodenkohlenstoff führen. Nach Höper<sup>9</sup> beträgt die langfristige (d.h. historisch über Jahrhunderte ermittelte) CO<sub>2</sub>e Aufnahme durch Torfwachstum im Schnitt etwa 1,5 t CO<sub>2</sub>e/ha jährlich. Belastbare Werte für die C-Speicherung nach eingeleiteter Regenerierung von Waldmooren liegen jedoch nach Freibauer et al.<sup>10</sup> nicht vor.

### **Beurteilung:**

Für insgesamt 262.469 ha organische Waldböden (2,3 % der Waldfläche<sup>11</sup>) wurde nach den IPCC Methoden eine bundesweite Emission von 0,64 Mio t CO<sub>2</sub>e berechnet (NIR

---

<sup>7</sup> Bisher nicht in allen Bundesländern umgesetzt.

<sup>8</sup> Kaat A, Joosten H, 2008: Factbook for UNFCCC policies on peatland carbon emissions. Wetlands International.

<sup>9</sup> Höper H, 2007: Was haben Moore mit dem Klima zu tun? Deutsche Gesellschaft für Moor- und Torfkunde. Hannover.

<sup>10</sup> Freibauer A, Drösler M, Gensior A und Schulze E-D, 2009: Das Potenzial von Wäldern und Mooren für den Klimaschutz in Deutschland und auf globaler Ebene. Natur und Landschaft 84,1.

<sup>11</sup> Die Ermittlung der Flächen der organischen Böden erfolgte georeferenziert durch Verschneidung der BÜK 1000 und der ATKIS-Daten.



2010). Dabei wird davon ausgegangen, dass alle organischen Standorte von Drainage betroffen sind. Ein Minderungspotenzial durch Regeneration lässt sich zurzeit noch nicht quantifizieren.

### **1.3. Emissionen durch Bewirtschaftungsverzicht**

In der Gesamtbilanz führt die Einstellung der nachhaltigen forstlichen Nutzung von Wäldern zugunsten anderer Ziele (z.B. Naturschutz) zu einer Reduktion des (a) Substitutionseffekts von Holz sowie (b) des C-Speichereffektes in Holzprodukten und damit zu zusätzlichen Emissionen von fossilen Energieträgern. Darüber hinaus folgt die Biomasseakkumulation in Wäldern einer Sättigungsfunktion, d.h. mit zunehmenden Bestandesalter sinkt die jährliche CO<sub>2</sub>-Senkenleistung und geht in der Schlußwaldphase gegen Null.

#### **Erklärung:**

Die Bedeutung der Wälder für die globale CO<sub>2</sub>-Bilanz liegt in der vorübergehenden Entnahme und Speicherung vom atmosphärischen Kohlenstoff insbesondere im Holz. Ein unbewirtschafteter (naturbelassener) Wald befindet sich langfristig und dauerhaft in einem natürlichen Gleichgewicht zwischen Zuwachs und Zerfall und weist somit keine zusätzliche Speicherleistung<sup>12</sup> auf. Auch der Umfang des C-Speichers in der lebenden und toten Biomasse von Wäldern ist naturgegeben begrenzt.

In einem nachhaltig bewirtschafteten Wald bleibt dagegen die Senkenleistung durch fortwährende Entnahme von Holz dauerhaft bestehen. Eine Ausweitung der Betrachtung durch Berücksichtigung von verarbeiteten Holzprodukten erweitert damit die Gesamtspeicherleistung. Darüber hinaus führt die Verwendung von Holz zur Substitution fossiler Energieträger und energieintensiver Baustoffe und kann damit anderweitig verursachte Emissionen verhindern (Bezug: HWP Erlass).

Mund<sup>13</sup> beschreibt z.B. den Einfluss verschiedener Bewirtschaftungsarten (Altersklassenbetrieb, Plenterwald und naturbelassener Wald) auf Buchenbestände in Deutschland. Im Bereich der oberirdischen Biomasse (lebende Biomasse und Totholz) gibt Mund zwar einen 35 % höheren Kohlenstoffvorrat im naturbelassenen Bestand (Hainich Nationalpark: 252 t C/ha) an verglichen mit Buchenwäldern in Altersklassenbetrieben (163 t C/ha), weist aber auch auf einen ökosystembedingten maximalen oberirdischen Kohlenstoffvorrat von 283 t C/ha (lebende oberirdische Biomasse und Totholz<sup>14</sup>) aus. Hieraus ergibt sich, dass der naturbelassene Bestand noch weitere 6 und der bewirtschaftete 26 Jahre Kohlenstoff akkumulieren könnte bevor sich ein Fließgleichgewicht zwischen Zuwachs und

---

<sup>12</sup> Eine geringe Speicherleistung und in gewissen Maßen fortlaufender Übergang in Bodenkohlenstoffvorräte findet durchaus statt, hierzu sind aber weder Prozesse noch Ausmaße für Deutschland bezifferbar.

<sup>13</sup> Mund M, 2004: Carbon pools of European beech forests (*Fagus sylvatica*) under different silvicultural management. Dissertation, Göttingen.

<sup>14</sup> Unterschiede im Bodenkohlenstoff-Pool beziffert Mund im einstelligen Prozentbereich, diese werden hier daher vernachlässigt.

Zerfall einstellt. Hierbei wird jedoch wiederum das potenziell dauerhafte Substitutionspotenzial von knapp  $11,7 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{a}$  erntefähige Brutto-Holzmasse vernachlässigt<sup>15</sup>. Dies bedeutet, dass die Senkenleistung in dem von Mund untersuchten Bestand durch nachhaltige Bewirtschaftung bzw. Holzentnahme bereits nach 11 Jahren der Senkenleistung durch Vorratsakkumulation infolge einer Nutzungsaufgabe übertreffen würde.

Eine Flächenstilllegung kann somit zwar kurzfristig zu einem erhöhten C-Vorrat führen, mittelfristig geht aber die Senkenleistung zurück bzw. die Netto-Speicherleistung kommt zum Erliegen. Durch den Verzicht auf Holz bzw. auf Holzprodukte wird deren Substitutionsleistung zudem reduziert. Die dadurch erhöhten Emissionen von fossilen Brennstoffen müssen mit den Vorteilen einer Nichtbewirtschaftung von Wäldern abgewogen werden.

### **Beurteilung:**

Ein gemäß der von der Bundesregierung in der Biodiversitätsstrategie beschlossener Nutzungsverzicht von 5 % der Gesamtwaldfläche bedeutet, dass ca. 500.000 ha aus der Bewirtschaftung genommen würden. Der durchschnittliche Zuwachs lt. BWI<sup>2</sup> beträgt bundesweit  $12,6 \text{ m}^3 \text{ Derbholz}/\text{a}/\text{ha}$  (bzw. nach den Ergebnissen der Inventurstudie  $11,1 \text{ m}^3 \text{ Derbholz}/\text{a}/\text{ha}$ <sup>16</sup>). Dieser Zuwachs würde bei Aufgabe der Waldbewirtschaftung je nach Bestandesalter und Baumart im Laufe der nächsten 100 bis 200 Jahre gegen Null gehen. Von Thoree (AFZ15/2009<sup>17</sup>) wird durch die Flächenstilllegung ein Nutzungsverzicht von  $8 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{a}$  angenommen. Dies führt rechnerisch zu einem langfristigen Verzicht einer Kohlenstoffbindung gegenüber genutzten Wäldern von etwa  $7,4 \text{ tCO}_2/\text{ha}/\text{a}$  bzw.  $3,7 \text{ Mio tCO}_2/\text{a}$  bundesweit. Alleine die entgangene  $\text{CO}_2$ -Bindung entspricht einem Gegenwert<sup>18</sup> von ca.  $44,4 \text{ Mio } \text{€}$  bei einem Zertifikatpreis von etwa  $12 \text{ €/tCO}_2$ . Darüber hinaus würden durch Substitutionseffekte weitere erhebliche Mengen  $\text{CO}_2$  eingespart werden können.

Die bundesweiten Simulation einer Waldreinertrags-maximierenden Nutzung führt nach einem 100-jährigen Zeitraum zu einer 70 %-ig höheren Kohlenstoffspeicherung (atmosphärischer Effekt inklusive materielle und energetische Substitution) als eine nicht-Nutzung der gleichen Waldfläche (CSWH<sup>19</sup>).

---

<sup>15</sup> Bundesweit durchschnittlicher Zuwachs der Buche aus BWI 2.

<sup>16</sup> POLLEY, H.; HENNIG, P. & SCHWITZGEBEL (2009): Holzvorrat, Holzzuwachs, Holznutzung in Deutschland. AFZ-DerWald 64, 20: 1076-1078.

<sup>17</sup> Aus AFZ 15/2009, Symposium Waldstrategie 2020. Annahmen: 500.000 ha Stilllegung je Nutzungspotenzial von  $8 \text{ m}^3/\text{ha}$  und  $0,92 \text{ tCO}_2/\text{m}^3$ .

<sup>18</sup> Weiterhin müsste hier der Rohholzwert wie auch die Wertschöpfungskette berücksichtigt werden: nach AFZ 15/2009 (Symposium Waldstrategie 2020) ca.  $4.160 \text{ €/ha}$  bzw. knapp 2 Mrd € bundesweit.

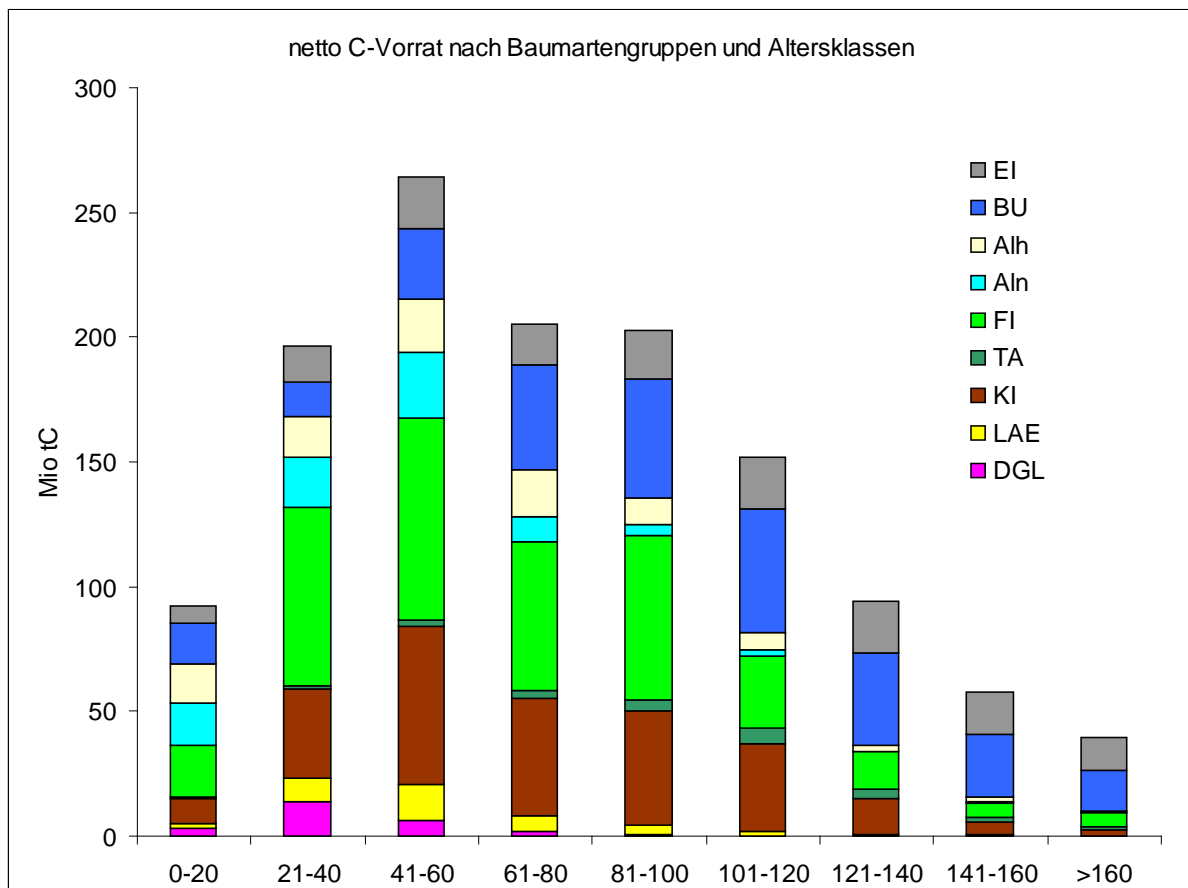
<sup>19</sup> [www.cswh.worldforestry.de](http://www.cswh.worldforestry.de)

#### 1.4. Emissionen durch Altersklasseneffekte

Die Entwicklung der Speicher- und Senkenleistung des Waldes hängt eng zusammen mit der Altersklassenverteilung: Während junge und wüchsige Bestände eine hohe Produktionsleistung und damit hohen C-Senkenleistung aufweisen, wird diese Leistung bei älteren und überalternden Beständen reduziert. In Deutschland wird durch die bestehende Altersklassenstruktur erwartet, dass der Wald innerhalb der kommenden Jahre zur THG-Quelle wird.

#### Erklärung:

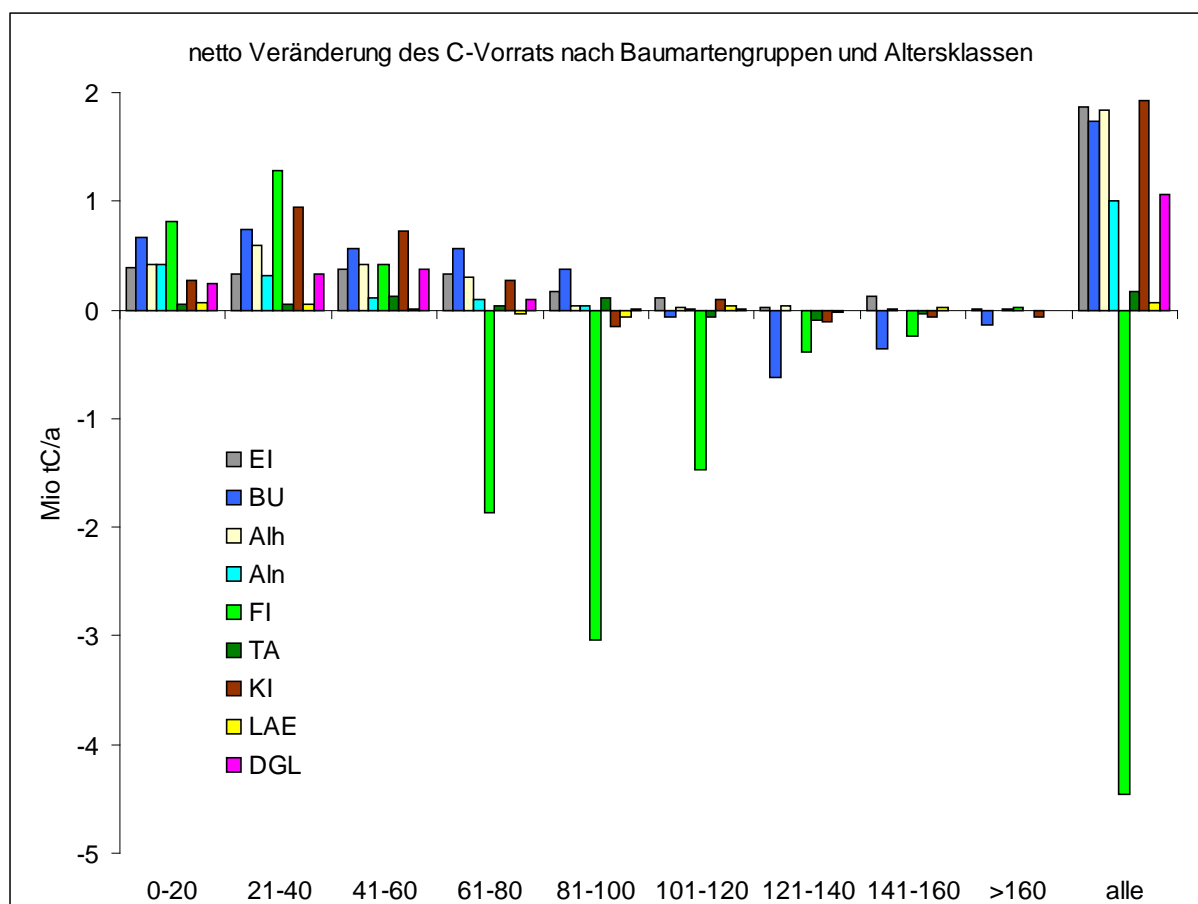
Abbildung 1 beschreibt die netto C-Vorräte nach Altersklassenverteilung und Baumarten (-gruppen) in Deutschland nach den Ergebnissen der Inventurstudie 2008<sup>20</sup>. Es wird ein überdurchschnittlich hoher Anteil des Holzvorrats von Nadelhölzern (vorwiegend Fichte und Kiefer) in den Altersklassen der Vor- und Endnutzung deutlich. Die hier gebundenen C-Mengen können in naher Zukunft zum erheblichen Teil dem Holzprodukte zugerechnet werden und bzw. stehen einem Substitutionseffekt zur Verfügung.



**Abbildung 1:** Holzvorrat nach Baumartengruppe und Altersklassen in Deutschland (basierend auf: Inventurstudie 2008).

<sup>20</sup> Dunger, K., Stümer, W., Oehmichen, K., Riedel, T., Bolte, A. (2009) Der Kohlenstoffspeicher Wald und seine Entwicklung AFZ-Der Wald 20/2009

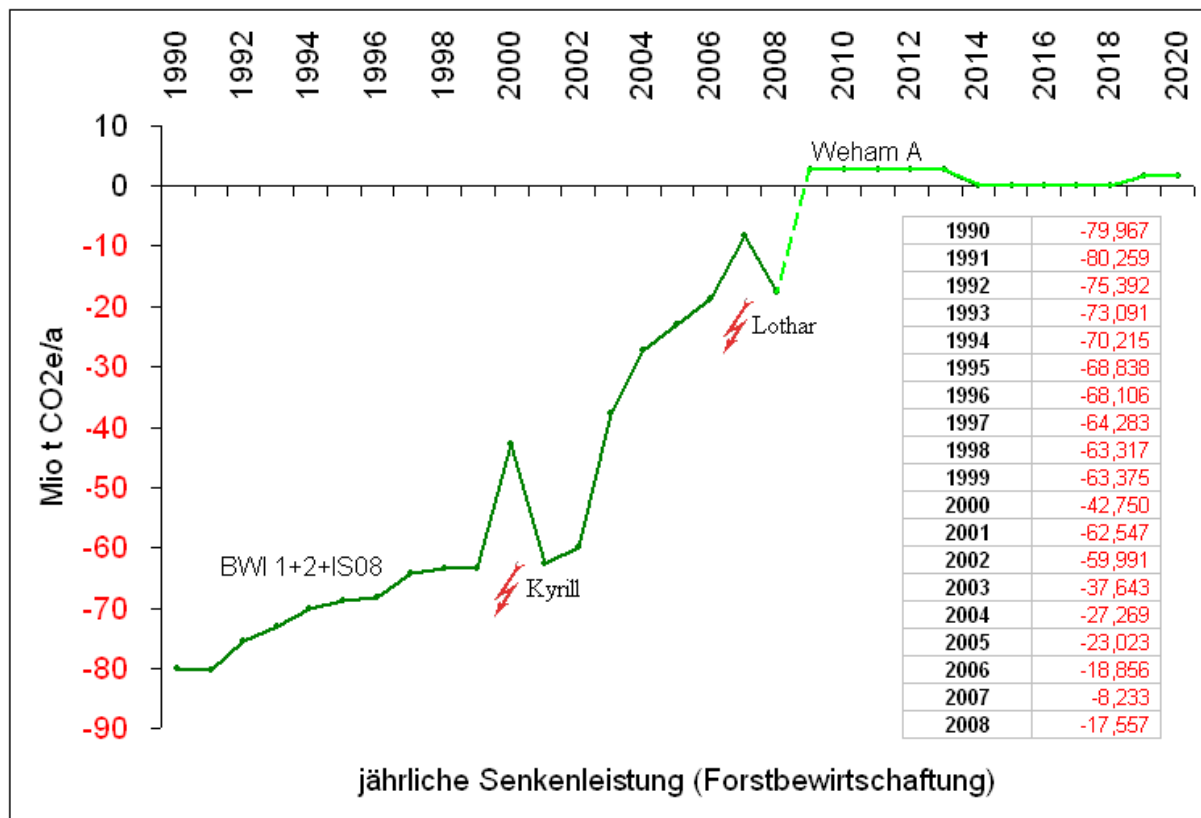
Abbildung 2 beschreibt dagegen die Veränderung des Vorrats (im Zeitraum 2002 bis 2008). Für die Arten Eiche, Buche, Kiefer und Douglasie sind zwar noch deutliche Netto-Vorratsanreicherungen zu verzeichnen, der Vorrat der Fichte geht dagegen stark zurück. Die Ursachen liegen im Vorratsabbau der Fichte in den erntefähigen Altersklassen, aber auch in der normalerweise wuchsstarken Alterklasse 61-80 Jahre. Auch ist die Netto-Vorratsanreicherung in der erwartungsgemäß wuchsstarken Altersklasse 41-60 vergleichsweise gering. Die Verluste in beiden letztgenannten Altersklassen können womöglich auf Kalamitäten (Sturm Lothar) zurückgeführt werden.



**Abbildung 2:** Jährliche C-Vorratsveränderungen im Zeitraum 2002-2008 nach Baumartengruppe und Altersklassen in Deutschland (basierend auf: Inventurstudie 2008).

Abbildung 3 beschreibt die Entwicklung der Speicherleistung insgesamt. Auch hier wird eine deutliche Abnahme sichtbar. Während des betrachteten Zeitraumes (basierend auf BWI 1, BWI 2 und Inventurstudie 08) nimmt die Senkenleistung (negative, rote Zahlen bedeuten die Speicherung von atmosphärischem Kohlenstoff) kontinuierlich ab und tendiert in der Zukunft gegen Null. Dieser Rückgang ist sowohl im Alterklasseneffekt, als auch in der Mobilisierung der in der Vergangenheit aufgebauten hohen Vorräte begründbar (vergl. Abb. 1 und 2).

Die WEHAM Projektion spiegelt die nach aktuellem Stand und bestem Wissen zu erwartende Speicherentwicklung wieder: die Umkehr von der derzeitigen Senkenleistung des Waldes zu einer C-Quelle in sehr naher Zukunft. Eine langfristige Quellsituation wird allerdings bei Beibehaltung der nachhaltigen Forstwirtschaft nicht erwartet.



**Abbildung 3:** Senkenleistung der Forstbewirtschaftung in Deutschland historisch und durch WEHAM (Basisszenario A) bis 2020 projiziert. Achtung: hier bezeichnen rote, negative Ziffern die Entnahme atmosphärischen Kohlenstoffs, also den Senkeneffekt, schwarze, positive Zahlen dagegen Emissionen.

### Beurteilung:

Die Altersklassenverteilung ist historisch durch umfangreiche Nachkriegsaufforstungen begründet, die langfristig zu Vorratsschwankungen führt. Diese Schwankungen können (theoretisch) durch frühzeitige Verjüngung und Waldumbau zu Dauerwäldern vermindert werden, wodurch auch eine temporäre Abnahme der Senkenleistung abgeschwächt würde. Hierzu wären jedoch erhebliche Investitionsmaßnahmen erforderlich. Nach dem WEHAM Basisszenario findet diese Quellsituation in naher Zukunft statt und stellt jegliche Maßnahmen zu einer Abkehr in Frage. Nach WEHAM A werden für den Zeitraum 2011 bis 2020 durchschnittliche Emissionen aus Waldbewirtschaftung (ohne Anrechnung von Holzprodukten) von 1,21 Mio tCO<sub>2</sub>e projiziert.

### 1.5. Sicherung bestehender Speicher

Die Sicherung bestehender Speicher stellt nicht alleine eine Maßnahme zur Vermeidung von Emissionen dar (z.B. durch Kalamitäten), sondern vielmehr ein Primat und eine Voraussetzung für den Erhalt und Fortbestand der Speicher und Senkenleistung im Wald und umfasst eine Vielzahl von möglichen und notwendigen Maßnahmen.

#### **Erklärung:**

Neben dem Boden (Nährkraft, pH-Wert, Körnung) und der Bewirtschaftung (Baumartwahl, Ernte- bzw. Verjüngungsmethode) bestimmen klimatische Faktoren, insbesondere Temperatur und Niederschlag, die Baumartenzusammensetzung von Wäldern. Maßgeblich sind dabei der durchschnittliche Witterungsverlauf, die Länge der Vegetationsperiode sowie Frequenz, Amplitude und Dauer extremer Klimaereignisse (Trocken- und Hitzeperioden, Stürme, Früh- und Spätfröste). Unter dem Stichwort „Climate Change“ werden weltweit Klimaveränderungen diskutiert: Für Mitteleuropa werden im Durchschnitt wärmere und trockenere Sommermonate sowie mildere und feuchtere Wintermonate erwartet. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft wird erheblich zunehmen. Zudem wird ein häufigeres Auftreten extremer Klimaereignisse wie Dürre- und Hitzeperioden, Früh- und Spätfröste sowie Stürme vorausgesagt<sup>21</sup>.

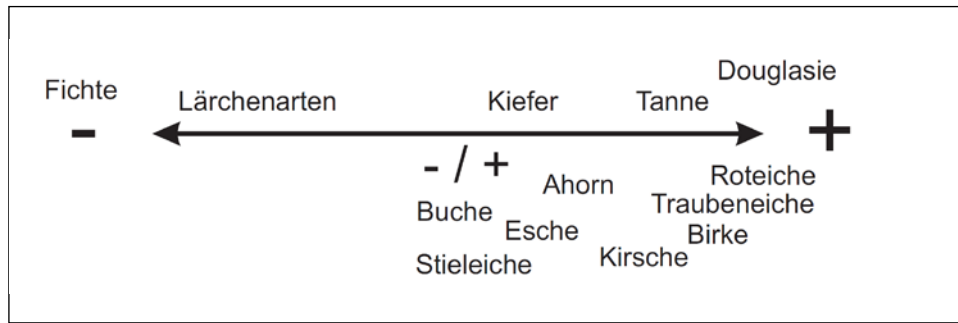
Für das künftige Wachstum der Wälder - einschließlich der Baumartenverteilung - ist von ausschlaggebender Bedeutung, inwieweit sich Baumarten und deren lokalen Herkünfte bzw. Ökotypen an die sich ändernden Klimabedingungen anpassen können und damit im Hinblick auf eine ausreichende Stoffproduktion konkurrenzfähig bleiben. Für trockenere Gebiete in Deutschland mit hoher Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel (Oberrheingraben, Nordostdeutsches Tiefland)<sup>22</sup> kann ggf. die Rentabilität der gesamten forstlichen Produktion in Frage stehen<sup>23</sup>. Für eine zielgerichtete Anpassung der Wälder und der Waldbausysteme auf lokaler Ebene sind Ergebnisse regionalisierter Klimamodellierung notwendig (z.B. CLM, WettReg, STAR). Zwar sind diese Ergebnisse derzeit noch mit hohen Unsicherheiten behaftet, wichtige Trends z.B. bei der Baumarteneignung können aber heute wichtige Informationen für Anpassungsmaßnahmen geben (Abbildung 4).

---

<sup>21</sup> Kriebitzsch, W.U.; Scholz, F.; Anders, S.; Müller, J.: Anpassung von Wäldern an Klimaänderungen. Forschungsreport: Verbraucherschutz – Ernährung – Landwirtschaft 1/2005 (Heft 31): 22-25.

<sup>22</sup> Zebisch, M., Grothmann, T.; Schröter, D.; Hasse, C.; Fritsch, U.; Cramer, W (2005): Klimawandel in Deutschland : Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Umweltbundesamt, Dessau : 203 S.

<sup>23</sup> Bolte, A.; Ibisch P.L. (2007): Neun Thesen zu Klimawandel, Waldbau und Waldnaturschutz. AFZ-DerWald 62(11): 572-576.



**Abbildung 4:** Anfälligkeit von Baumarten gegenüber Einflüssen des Klimawandels (Einschätzung nach der Ressortforschung des Bundes und der Länder)<sup>24</sup>. -: sehr anfällig; + robust.

Bei der zukünftigen Ausrichtung der Waldbewirtschaftung sind drei verschiedene Strategien grundsätzlich zu unterscheiden<sup>23</sup>:

- Nicht-Anpassung bzw. Erhaltung der bestehenden Waldstrukturen.**  
 Dies erfordert z.T. erhebliche Erhaltungseingriffe, um die Waldbestände gegen abiotische und biotische Schäden zu schützen. Das Risiko von katastrophalen Ereignissen (Trockenschäden, Windwurf) erhöht sich, je mehr sich die bestandesbildenden Baumarten durch den lokalen Klima- bzw. Standortwandel von ihrem Wuchs- und Vitalitätsoptimum entfernen.
- Aktive Anpassung bzw. Waldumbau.**  
 Aktive Anpassungsmaßnahmen wie der Ersatz trockenheitsempfindlicher Bäume durch trockenheitstolerante Bäume anderer Arten und Herkünfte (Waldumbau) benötigen dynamische Leitbilder, die die Standortsänderungen durch Klimawandel mit berücksichtigen. Bisherige (semi-)statische Leitbilder wie die potenzielle natürliche Vegetation (pnV) liefern keine ausreichende Grundlage für eine aktive Anpassung und führen zu einem unkalkulierbaren Risiko.
- Passive Anpassung bzw. „Sich-selbst-Überlassen“**  
 Bei dieser Strategie werden bewusst keine Erhaltungs- und Anpassungsmaßnahmen durchgeführt, um eine Anpassung im Zuge der natürlichen Waldentwicklung zu ermöglichen. Dies führt zu einer ergebnisoffenen Entwicklung. Forstwirtschaftliche und naturschutzfachliche Ziele sind allerdings nicht definitiv planbar.

<sup>24</sup> Bolte, A.; Eisenhauer, D.-R.; Ehrhart, H.-P.; Groß, J.; Hanewinkel, M.; Kölling, C.; Profft, I.; Rohde, M.; Röhe, P.; Amereller, K. (2009): Klimawandel und Forstwirtschaft - Übereinstimmungen und Unterschiede bei der Einschätzung der Anpassungsnotwendigkeiten und Anpassungsstrategien der Bundesländer. Landbauforschung - vTI Agriculture and Forestry Research 59, 4: 269-278.

### **Beurteilung:**

Eine Umfrage bei den Ressortforschungseinrichtungen der Länder ergab eine Präferenz für aktive Anpassungsmaßnahmen, die in erster Linie den Umbau gefährdeter Bestände betreffen. Zusätzlich wird eine Ausweitung von Mischungen verschiedener Baumarten und Herkünfte angestrebt, um so das Risiko von Ausfällen einzelner Baumarten zu minimieren. Eine passive Anpassung wird als eher negativ bewertet, liefert aber bei unsicherer Klimaentwicklung und fehlenden Baumarten- und Herkunftsalternativen die einzige Möglichkeit, Wälder risikoarm (aber mit höherem Marktrisiko) anzupassen. Naturnaher Waldbau auf Basis der heutigen PNV liefert keine Gewähr für eine erfolgreiche Anpassung.

2. Welche Möglichkeiten zur zusätzlichen Sequestrierung gibt es prinzipiell?

#### **2.1. Änderungen der Speicherleistung durch veränderte Bewirtschaftung**

##### ***2.1.1. Bedeutung der Produktions- oder Senkenleistung und des Vorrats als Speicher***

Generell ist im Hinblick auf die Kohlenstoff-Senkenfunktion zwischen Zuwachs (Senkenleistung) und Vorrat (Speicher) zu unterscheiden:

- 1) Wäre nur die in den Wäldern gebundene Kohlenstoffmenge relevant für die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre, dann wäre eine möglichst hohe Vorratshaltung anzustreben.
- 2) Da Holz aber auch fossile Energie substituieren und Kohlenstoff auch in Holzprodukten langfristig gespeichert werden kann, ist im Hinblick auf die Kohlenstoff-Senkenfunktion eine Erhöhung der Senkenleistung (Zuwachs) vorzuziehen. Dies wird optimal erreicht, indem die Holzvorräte zum Zeitpunkt des maximalen durchschnittlichen Gesamtzuwachses ( $dGZ_{max}$ ) geerntet und genutzt werden (z.B. zur Substitution von fossilen Brennstoffen, einer vermehrten Nutzung von Konstruktionsholz zur Substitution von Baustoffen mit schlechter Klimabilanz wie z.B. Stahl und Beton – siehe HWP Erlass).

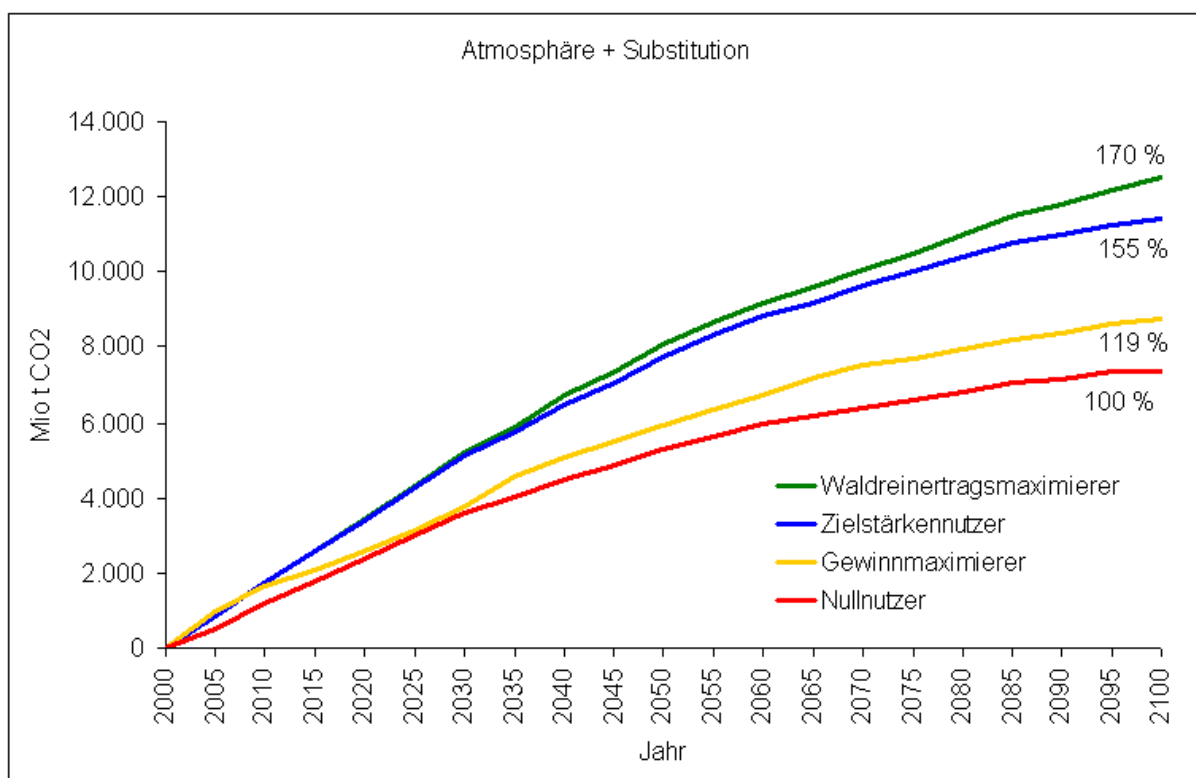
##### ***2.1.2. Bewirtschaftungsstrategie***

Eine Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Senkenleistung kann durch eine intensivere Nutzung erreicht werden, diese führt aber auch zu einer Verringerung der bestehenden Vorräte. Aus betrieblicher Sicht erfordert eine Entscheidung für die Art der Strategie erfordert zunächst eine grundlegende Festlegung hinsichtlich langfristiger Betriebsziele unter Berücksichtigung eventuell konkurrierender Ansprüche. Grundlegend unterschiedliche Ziele könnten als Kompromiss flächig getrennt verfolgt werden.



### Erklärung:

Die Ergebnisse des BMBF-geförderten Projekts CSHW (Potential and Dynamik of Carbon Sequestration in Forests and Timber<sup>25</sup>) für Wälder in Deutschland beschreiben einen signifikant höheren CO<sub>2</sub>-Minderungseffekt bei intensiver Bewirtschaftung (Maximierung des Waldreinertrags) verglichen mit der Speicherleistung von Zielstärken-orientierten und Gewinn-maximierten Bewirtschaftungsstrategien, bzw. naturbelassenen Wäldern. Die modellierten Unterschiede sind in Abbildung 5 dargestellt. Hier wird erneut verdeutlicht, dass eine intensive Bewirtschaftung mit dem Ziel eines möglichst hohen Holzzuwachses und intensiver Holznutzung zur Herstellung langlebiger Holzprodukte und der Substitution von fossilen Energieträgern den größten Minderungseffekt bewirkt.



**Abbildung 5:** Minderungspotenzial in Abhängigkeit verschiedener Bewirtschaftungsstrategien, 100-jährige Simulation für Deutschland (CSHW, aufakkumuliertes Minderungspotenzial: Atmosphäreneffekt und (energetische + materielle) Substitution für B1 Szenario (nach IPCC Klimamodellen)). Die Abbildung beschreibt die Summe der Kohlenstoffspeicher in allen Pools einschließlich des Bodenkohlenstoffanteils. Aus: CSHW Endbericht 2010.

Ebenso wie eine Schweizer Modellierung (eine Zusammenstellung unterschiedlicher Betriebsziele für die Schweizer Wälder und deren Auswirkungen auf ihre C-Senkenleistung

<sup>25</sup> [www.cswh.worldforestry.de](http://www.cswh.worldforestry.de)

nach Hofer et al.<sup>26</sup>) zeigt das CSWH Projekt für Deutschland auf, dass eine Nicht-Nutzung der Waldökosystem-eigenen Speicherleistung („Kraftwerk Wald“) schon mittelfristig einen nachteiligen Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Senkenfunktion des Waldes hat. Auch Hofer et al. schließen: „Der Beitrag zur Verbesserung der Treibhausgasbilanz ist dann am größten, wenn: ein möglichst hoher Holzzuwachs im Wald erreicht und dieser laufend vollständig genutzt wird, aus dem genutzten Holz soweit wie möglich langlebige Holzprodukte hergestellt werden, diese nach Ablauf ihrer Lebensdauer, wenn sinnvoll, rezykliert und schließlich energetisch (end-) genutzt werden.“

Weiterhin ergeben die in CSWH durchgeführten Modellrechnungen, dass der Klimaeffekt einen signifikant geringeren Einfluss auf die Speicherleistung des Waldes hat als der Effekt durch die untersuchten Bewirtschaftungsstrategien und deren Reaktionen. Hieraus wird die erhebliche Bedeutung der Bewirtschaftungsstrategie erneut verdeutlicht. Einschränkung muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass diese Aussagen nur für die nachhaltige Waldbewirtschaftung in Deutschland gemacht werden und keinesfalls global zu bewerten sind.

#### **Beurteilung:**

Die modellierte Nutzung aller Wälder in Deutschland ergibt nach 100 Jahren bei Waldreinertragsmaximierung eine 70 %-ig höhere Senkenleistung als ein Nutzungsverzicht. Die Bewirtschaftungsstrategie des Gewinnmaximierens (geprägt durch vorrangige Orientierung an kurzfristige Marktveränderungen) erwirtschaftet dagegen nur eine um 19 % höhere Senkenleistung im Vergleich zum Nutzungsverzicht. *Darstellungen über entsprechende Flächenzuordnungen und Änderungsmöglichkeiten für Deutschland sind zurzeit noch nicht verfügbar aber in Vorbereitung.*

#### **2.1.3. Bewirtschaftungsmaßnahmen (Vorratsaufbau, Überführung, Baumartenwechsel, Umtriebszeitveränderung, Totholzanteil, Bestandesdichte)**

Gezielte Modifikationen der bisherigen Bewirtschaftungspraxis in den heutigen Wäldern stellen eine weitere Möglichkeit zur zusätzlichen Kohlenstoffbindung dar. Aufgrund der Langfristigkeit der forstlichen Produktion wirken die hier in Betracht kommenden Maßnahmen zumeist allerdings eher langfristig; ihre Ergebnisse werden zudem stark von der gegebenen Ausgangssituation (Altersverteilung) sowie gegebenenfalls auch von Kalamitäten (insbesondere Sturmwürfen) beeinflusst.

Auch hier ist bei der Kohlenstoff-Senkenfunktion zwischen Zuwachs (Senkenleistung) und Vorratsänderung (Zu- bzw. Abnahme des Speichers) zu unterscheiden (siehe 2.1.1). Nur

---

<sup>26</sup> Hofer P, Taverna R, Werner F, Thürig E., 2007: CO<sub>2</sub>-Effekte der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft. Szenarien zukünftiger Beiträge zum Klimaschutz. BAFU.

in bestimmten Bestandessituationen (Unterbestockung, Jungbestände) verlaufen die Entwicklung des Zuwachses und der Vorräte parallel. Bei überbestockten oder älteren Beständen sind mit den höheren Vorräten geringere Zuwächse verbunden.

Eine Quantifizierung des Potenzials zusätzlicher Sequestrierung anhand von Bewirtschaftungsmaßnahmen ist jedoch nur mit spezifizierten Einzelbetrachtungen oder im Rahmen generalisierender Modelle möglich.

### → **Erhöhung der Holzvorräte pro Flächeneinheit**

Holzvorräte pro Flächeneinheit können je nach Ausgangslage durch unterschiedliche Maßnahmen erhöht werden, im Wesentlichen durch Baumartenwechsel, Erhöhung der Bestockungsdichte, Umtriebszeitverlängerungen, daneben auch durch eine Erhöhung des Totholzanteils und durch Überführung von Altersklassenwäldern in Dauerwälder.

Betrachtet man die Vorratsentwicklung über einen längeren Zeitraum (Abbildung 1), so zeigt sich, dass in der Vergangenheit die Holzvorräte in den Wäldern Deutschlands insgesamt gestiegen sind; sie betragen nach der Bundeswaldinventur rund 3,4 Mrd. m<sup>3</sup>. Im Vergleich der beiden bisherigen Bundeswaldinventuren haben die Holzvorräte zwischen 1987 und 2002 durchschnittlich um 55 m<sup>3</sup>/ha zugenommen (nur alte Bundesländer).

Die zukünftige Vorratsentwicklung ist mit Hilfe des Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodells WEHAM projiziert worden, das auf den Daten der Bundeswaldinventur 2 aufbaut. Mit diesem Modell wurden Zuwachs, Rohholzpotential und Vorratsentwicklung in Fünfjahresschritten bis 2042 abgeschätzt: Nach diesem Szenario ist zunächst noch etwa 20 Jahre mit weiter steigenden Vorräten im Wald zu rechnen, bedingt durch den derzeitigen Altersaufbau der deutschen Wälder in Verbindung mit relativ langen Umtriebszeiten und der allgemeinen Verpflichtung zur Nachhaltigkeit. Mit dem steigenden Bestandesalter und der erwarteten Alterklassenverteilung in den kommenden Jahren (vergl. Abbildung 3 und Tabelle 1), ist eine deutliche Abnahme der Senkenleistung zu erwarten.

### **Beurteilung:**

Eine Erhöhung des Holzvorrates unter Berücksichtigung ökosystemarer Bedingungen und der aktuellen Holzvorräte ist prinzipiell möglich aber langfristig nur bedingt sinnvoll. Diese Maßnahme hängt auch von der Lebenserwartung der jeweilig bestandbildenden Baumarten ab und ist somit zeitlich begrenzt. Ein hohes Bestandesalter kann zu instabilen Wäldern und deren Zusammenbrechen führen, die Senke Wald wird dadurch zur Quelle. Eine frühzeitige Nutzung und Verjüngung der Bestände verhindert dagegen die (aktuell bereits stattfindende) Reduktion der Senkenleistung.

Insgesamt gesehen dient eine weitere Vorraterhöhung schon mittelfristig nicht dem Ziel der langfristigen Sequestrierung von Treibhausgasen, da dies sowohl eine Steigerung der

Senkenleistung, als auch die Mobilisierung von Holzvorräten zur Substitution verhindert. Darüber hinaus führt eine Vorratssteigerung unter Umständen zu Zielkonflikten mit anderen forstpolitischen Zielen der Bundesregierung (insbesondere dem Ziel einer verstärkten Holzverwendung in der Charta für Holz).

### → **Überführung von Altersklassenwäldern in Dauerwälder**

Die Abkehr vom Altersklassenwald und dessen Überführung in ungleichaltrige Bestände kann sowohl den Holzvorrat als auch den Holzzuwachs beeinflussen. In welche Richtung dieser Einfluss geht, ist sowohl vom Ausgangsbestand, von den regionalen Wachstumsverhältnissen, als auch von der waldbaulichen Behandlung des Zielbestandes abhängig. Als alternative Modellform zum Altersklassenwald gibt es Plenterwälder, die in ganz unterschiedlicher Vorratshaltung und entsprechend auch mit unterschiedlichen Zuwachs- und Nutzungsniveaus vorkommen<sup>27</sup>. Für Altersklassen- und Plenterwaldbetriebe gleicher Nutzungsmengen lässt sich aus der Literatur teilweise durchaus eine Überlegenheit der Plenterwälder entnehmen; allerdings erfordern Plenterwälder eine hohe Eingriffsintensität und kontinuierliche Pflege, um im Plentergleichgewicht gehalten werden zu können. Dies gilt umso mehr für die Übergangszeit bis zum Erreichen der Plentergleichgewichts. Von gleichen Nutzungsklassen ausgehend, könnten – sieht man von Risikobetrachtungen ab – mit Plenterwäldern beide Ziele gleichzeitig zu erreichen sein: im Gegensatz zu den Altersklassenwäldern permanent hohe Vorräte bei gleich hoher Nutzung<sup>28</sup>.

### **Beurteilung:**

Als Instrument zur Steigerung der Kohlenstoff-Senkenfunktion von Wäldern erscheint die Überführung von Altersklassenwäldern in Dauerwälder auf geeigneten Standorten und mit geeigneten Baumarten durchaus sinnvoll, sofern die nötige Pflegeintensität sichergestellt werden kann. Zusätzlich dient diese als Instrument zur erhöhten natürlichen Bestandessicherheit (der allerdings höhere finanzielle Untergangsrisiken gegenüberstehen) und zur Anpassung an klimatische Veränderungen, somit erscheint eine Überführung besonders auf gefährdeten Standorten auch als eine Möglichkeit zur Sicherung der Speicherleistung.

Nach Burschel und Huss (1997) ermöglicht ein Plenterwaldbetrieb auf geeigneten Standorten eine knapp 22 %-ig höhere Stammholzernte verglichen zu einem Altersklassenwald und einen flächenbezogener Erlösvorteil von gut 30 %. Letztendlich erfordert der Plenterbetrieb allerdings erhebliches waldbauliches Können, hohe Präsenz des Forstpersonals in der Fläche und große, über viele Generationen von Forstleuten sich erstreckende Kontinuität in der Art der Waldbehandlung. *Darstellungen über entsprechende*

---

<sup>27</sup> Mayer, H. (1977): Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart & New York

<sup>28</sup> Burschel, P.; Huss, J. (1997): Grundriß des Waldbaus. Paul Parey Verlag, Hamburg & Berlin. S 154.

*Flächenzuordnungen und Änderungsmöglichkeiten für Deutschland sind zurzeit noch nicht verfügbar aber in Vorbereitung.*

### **→ Baumartenwechsel**

Eine Veränderung der Baumartenzusammensetzung kann zum Ziel haben, leistungsstarke und raschwüchsige Bestände zu begründen. Wo ein Wechsel von ertragsschwächeren Baumarten wie Kiefer oder Eiche zu ertragreicheren wie Fichte oder Douglasie aufgrund der natürlichen Bedingungen möglich erscheint, lässt sich langfristig auf gleicher Fläche die Kohlenstoff-Senkenfunktion erhöhen. Bei höherer Gesamtwuchsleistung der Baumarten kann sich langfristig sowohl ein höherer Zuwachs als auch ein höherer Durchschnittsvorrat ergeben. Beide Effekte erscheinen generell wünschenswert. Allerdings können Bestände aus nicht standortsangepassten, aber wuchskräftigen Baumarten gegenüber Stressoren anfälliger sein. Bei der Bestandesbegründung ist deshalb besondere Sorgfalt bei der Risikoabschätzung und der Wahl der verwendeten Herkünfte gefordert.

Letztendlich wird aber die Senkenleistung der Wälder erst durch eine entsprechende langfristige Nutzung des fixierten Kohlenstoffes bzw. des Holzes, durch den Substitutionseffekt, gewährleistet. Vor diesem Hintergrund müssen bei einem Baumartenwechsel die Nutzungsmöglichkeit sowie übergeordnete Ziele wie Bestandessicherheit, Biodiversität und Wirtschaftlichkeit beachtet werden. Weiterhin kann ein Baumartenwechsel die Nutzung der natürlichen Verjüngung einschränken. Zusätzliche Investitionen für die Bestandesbegründung führen aber aufgrund der Langfristigkeit dieser Investition zu einer hohen Zinsbelastung.

### **Beurteilung:**

Der Baumartenwechsel hin zu leistungsstärkeren und raschwüchsigen Baumarten kann durchaus den Zielen höherer Sequestrierung und Ausnutzung der Substitutionseffekte dienen. Allerdings müssen bedeutsame Risiken und konträre Ziele bedacht werden. Rechnerisch könnte z.B. die Erhöhung des Douglasienanteils (zurzeit 1,6 % Flächenanteil<sup>29</sup>) auf 10 % der Bundeswaldfläche (flächig gemischt oder auch auf geeigneten Standorten getrennt) den dGZ des Vorrats um 3,0 m<sup>3</sup>/ha/a gegenüber Fichte, 7,7 m<sup>3</sup>/ha/a gegenüber Buche und um 7,3 m<sup>3</sup>/ha/a gegenüber dem Durchschnitt aller Arten erhöhen. Die Kohlenstofffixierung erwürde sich so theoretisch (bundesweit) um 2,5 Mio t CO<sub>2</sub> (gegenüber Fichte), 6,2 Mio t CO<sub>2</sub> (gegenüber Buche) bzw. 5,9 Mio t CO<sub>2</sub> (gegenüber dem Durchschnitt aller Arten) pro Jahr erhöhen

### **→ Umtriebszeitveränderung**

Die Frage, wie sich eine Umtriebszeitänderungen auf die Kohlenstoff-Senkenfunktion der Wälder in Deutschland tatsächlich auswirkt, ist schwer zu beantworten. In der forstlichen

---

<sup>29</sup> Die zweite Bundeswaldinventur – BWI<sup>2</sup>. Der Inventurbericht. BMELV 2005.

Praxis in Deutschland wird kaum noch mit festen Umtriebszeiten gearbeitet, sondern vielmehr mit Nutzungszeiträumen von einigen Jahrzehnten. Die Übergänge von der Vor- zur Endnutzung sind daher fließend. Für größere Aggregate lässt sich anhand der BWI zeigen, dass das tatsächliche durchschnittliche Endnutzungsalter in etwa mit der Kulmination des durchschnittlichen Gesamtzuwachses zusammenfällt. Die Bundeswaldinventur (BWI 2) weist allerdings für alle Baumarten nennenswerte Flächenanteile aus, auf denen das Bestandesalter jenseits des Kulminationspunktes des durchschnittlichen Gesamtzuwachses liegt.

Eine **Verlängerung** der Umtriebszeit zur Steigerung der Kohlenstoffbindung in Wäldern führt kurzfristig zu einer Erhöhung des Holzvorrates – allerdings sinken mit zunehmendem Bestandesalter die Zuwachsraten und damit auch die Senkenleistung. Insbesondere müssen bei einer Umtriebszeitverlängerung Aspekte der Wirtschaftlichkeit und Bestandessicherheit beachtet werden (s. Kap. *Emissionen durch Altersklasseneffekte*). Weiterhin würde dies die verfügbare Menge Holz zur Substitution von fossiler Energie direkt oder auch durch Ersatz von energieintensiv hergestellter Materialien einschränken. Aus betrieblicher Sicht kann eine Verlängerung der Umtriebszeiten, je nach Ausgangssituation, ein zeitweiliges Aussetzen oder Einschränken der Endnutzungen bedingen und daher zu Liquiditätsengpässen für die Betriebe führen. Auch Verluste an Wertzuwächsen oder sogar an Wert z.B. durch vermehrte Holzfäule sind je nach Ausgangslage möglich. Zudem verstärkt eine Umtriebszeitverlängerung tendenziell die betrieblichen Risiken durch eine mit zunehmendem Alter steigende Gefährdung des im Bestand gebundenen Kapitals infolge von Sturmwürfen etc.

Eine **Verkürzung** der Umtriebszeit auf den Zeitpunkt des  $dGZ_{max}$  (maximaler durchschnittlicher Gesamtzuwachs) führt dagegen zur Optimierung im Sinne der Senkenleistung und des Substitutionspotenzials. Hier ergeben sich allerdings erneut konträre Interessen vor allem mit Naturschutzziele.

Auf der Basis der Inventurstudie 2008 wurden am vTI-WOI Vergleichssimulationen mit für die Analysen der BWI<sup>2</sup> entwickelten Szenarien durchgeführt (Tabelle 1).

Neben dem oben bereits erwähnten Basisszenario, welches das Vorgehen beschreibt, das mit Stand BWI<sup>2</sup> von den Landesforstverwaltungen für eigene Flächen geplant war und im Rahmen der Betreuung anderer Waldbesitzern empfohlen werden sollte, wurden zwei weitere Szenarien verwendet. Szenario D arbeitet mit länger angesetzten Produktionszeiten (Umtriebszeiten im Vergleich zum Basisszenario um 20 Jahre verlängert), Szenario F mit verkürzten (ca. 10 – 20 Jahre). Szenario F wurde mit dem Startvorrat aus 2002 so angepasst, dass 2022 die Vorräte wieder auf das Niveau der BWI<sup>1</sup> zurückgefahren waren. Auch diese Analyse belegt den Rückgang der Holznutzungsmöglichkeiten bei Produktions-

zeitverlängerung. Die endgültigen Effekte in tCO<sub>2</sub>e sind von der jeweils realisierten Sortimentsstruktur des Einschlags und den damit einhergehenden Substitutionsfaktoren abhängig und können hier nicht angegeben werden.

**Tabelle 1:** Vergleich der absoluten Rohholzpotentiale, Vorräte und Zuwächse in den drei Szenarien (U steht für Umtriebszeit, Erklärung im Text).

	<b>Basisszenario</b>	<b>Szenario D</b> (U verlängert)	<b>Szenario F</b> (U verkürzt)
<b>Rohholzpotential</b> (Mio. Efm o.R. / J.)			
Anfang (2002)	78,3	71,1	98,1
Ende (2022)	82,0	78,1	80,6
Durchschnitt	79,9	72,1	89,4
<b>Vorrat</b> (Mio. Vfm m. R.)			
Anfang	3.322,9	3.322,9	3.322,9
Ende	3.253,3	3.662,1	2.676,0
Durchschnitt	3.306,7	3.557,8	2.916,7
<b>Zuwachs</b> (Mio. Vfm m. R. / J.)			
Anfang	104,0	104,1	103,0
Ende	96,5	92,5	99,2
Durchschnitt	99,0	99,3	96,8

### **Beurteilung:**

Eine Umtriebszeitverlängerung verringert die Senkenleistung des Waldes wie auch der CO<sub>2</sub>-Substitutionspotenziale und erhöht gleichzeitig Zinsbelastung wie auch das betriebliche Risiko. Insofern ist eine Umtriebszeitverlängerung nicht zielführend. Eine Umtriebszeitverkürzung von Beständen, die die dGZ<sub>max</sub> überschritten haben, dagegen intensiviert die Senkenleistung, sofern der Markt die angebotenen Holzmengen auch aufnehmen und an Endverbraucher weitergeben kann. Eine Konzentration auf ausgesuchte Bestände für eine Umtriebszeitverkürzung wäre daher unter Berücksichtigung der oben angesprochenen Nutzungskonflikte und wie auch standörtlichen Möglichkeiten (z.B. Nährstoffnachlieferung) empfehlenswert. Die Diskussion über „Integrative Waldwirtschaft versus Segregation der Waldfunktionen“ wird auf Seiten des Naturschutzes bereits seit einiger Zeit geführt, scheint aber als nicht zielführend zunehmend verworfen zu werden.

### **→ Erhöhung des Totholzanteils**

Auch bei der Erhöhung des Totholzanteils handelt es sich um eine mögliche Option zu Erhöhung der Kohlenstoffvorräte im Wald, die zudem u. a. die Biodiversitätsziele fördert. Für die Erhaltung der Biodiversität und Artenvielfalt im Wald ist ein angemessener, nachhaltiger Totholzanteil essentiell (Meyer et al 2003<sup>30</sup>), den es durch Einbindung quantitati-

<sup>30</sup> Meyer P, Bartsch N, Wolff B (2003) Methoden der Totholzerfassung im Wald, Forstarchiv 74, 263-274.

ver und qualitativer Vorgaben in Forst- und Naturschutzkonzepten zu sichern gilt. Der Aufbau eines definierten, stabilen Vorrates an Totholz ist abhängig vom Zuwachs und der Nutzung des Rohstoffes Holz sowie dem Totholzabbau, der durch die Zersetzungsdynamik und Zersetzungsgeschwindigkeit beschrieben wird. Die Empfehlungen aus wissenschaftlichen Untersuchungen für Totholz mengen reichen von 5-10 m<sup>3</sup>/ha (Ammer 1991<sup>31</sup>) bis 100 m<sup>3</sup>/ha (Müller et al 2007<sup>32</sup>), was die große Bandbreite unterschiedlichster Schutzziele und Zielkriterien widerspiegelt.

Der Totholzvorrat ist zwischen BWI2 und der IS08 angestiegen und betrug im Jahr 2008 24 m<sup>3</sup>/ha (Aufnahmegrenze 10 cm). Damit geht eine jährliche Änderung des C-Vorrates im Totholz von rund 0,2 tC/ha (bzw. 0,7 t CO<sub>2</sub>/ha/a) einher. Wenn der Totholzvorrat angehoben werden soll, muss dafür ein entsprechender prozentualer Anteil aus dem Rohholzpotential verwendet werden, der dann für Holzprodukte oder Substitutionseffekte nicht mehr verfügbar ist.

Da der Prozess des Aufbaus eines Totholzpool nicht kontinuierlich erfolgt und durch verschiedene äußere Faktoren beeinflusst wird, ist die derzeit festgestellte Kohlenstoff-Senkenfunktion nur befristet. Darüber hinaus steht Totholz, nicht mehr zur energetischen Verwendung zur Verfügung, mit der fossile Energieträger substituiert werden können.

### **Beurteilung**

Kurzfristig kommt es durch eine Anreicherung von Totholz zur Kohlenstoffspeicherung, aus der eine Kohlenstoffsenke resultiert. Langfristig wird sich der Totholzanteil im Wald auf einen bestimmten Wert einpegeln, der durch äußere Umstände, wie z.B. Totholzschutzprogramme, verwendete Ernteverfahren, Schwankungen unterliegt. Deshalb erscheint die Erhöhung des Totholzanteils als Instrument zur Steigerung der Kohlenstoff-Senkenfunktion von Wäldern als ungeeignet

#### **→ Erhöhung der *Bestandesdichte* von Wirtschaftswäldern**

Eine Erhöhung der Bestandesdichte führt bei normalbestockten Beständen dazu, dass die Netto-Wuchsleistung des Gesamtbestandes auf mehr Baumindividuen pro Flächeneinheit aufgeteilt werden muss. Jenseits einer bestimmten Schwelle kann dies (vorrangig durch inter- und intraspezifische Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe) zu einem verringerten Gesamtzuwachs und somit auch zu einer verringerten Kohlenstoff-Senkenleistung führen. Generell sind Bäume aus (zu) dichten Beständen dünner, d. h.

---

<sup>31</sup> Ammer U (1991) Konsequenzen aus den Ergebnissen der Totholzfor schung für die forstliche Praxis. - Forstw. Cbl. 110: 149-157.

<sup>32</sup> Müller J, Bußler H, Utschick H (2007) Wieviel Totholz braucht der Wald? – Naturschutz und Landschaftsplanung 39(6): 165-170.



Erntezeitpunkte verschieben sich nach hinten und / oder Durchforstungssortimente sind auch unter Substitutionsgesichtspunkten geringwertiger. .

Als Instrument zur Steigerung der Kohlenstoff-Senkenfunktion wirkt eine Erhöhung der Bestockungsdichte nur bei unterbestockten Beständen bis zum Erreichen eines Optimums und daher auch nur befristet. Weiterhin müssen durch eine über das Optimum hinaus erhöhte Bestandesdichte nachteilige Auswirkungen auf die Bestandessicherheit, Wirtschaftlichkeit und auch Biodiversität bedacht werden. Aus betrieblicher Sicht gilt auch hier wie im Falle der Umtriebszeitverlängerung, dass mit der Erhöhung der Bestockungsdichte eine verstärkte Kapitalbindung einhergeht, die das betriebliche Risiko tendenziell vergrößert.

### **Beurteilung**

Als Instrument zur Steigerung der Kohlenstoff-Senkenfunktion von Wäldern erscheint die Erhöhung der Bestandesdichte ungeeignet.

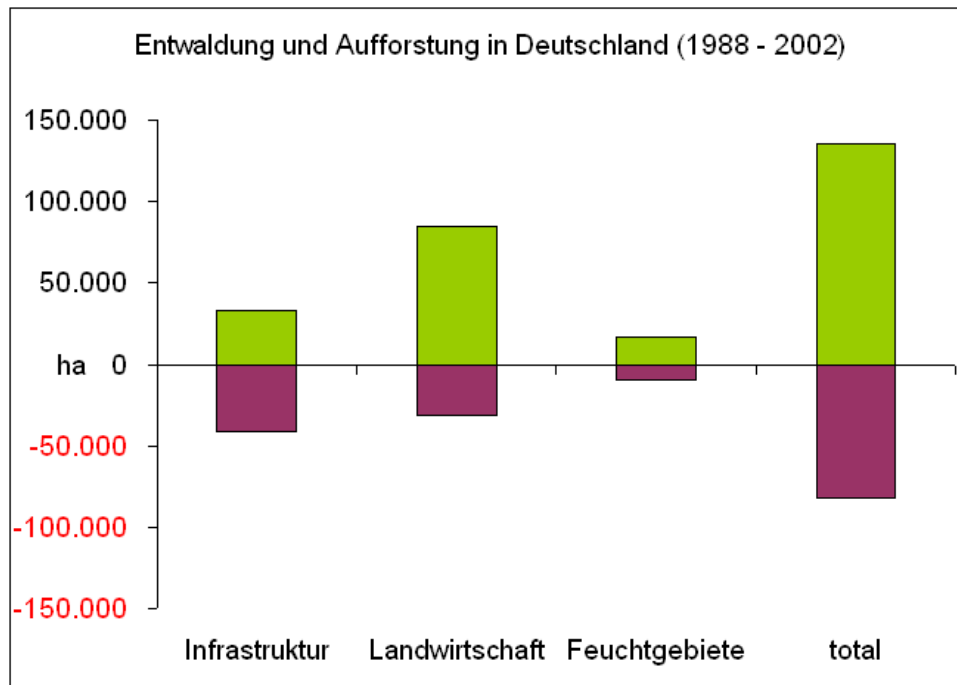
## **2.2. Flächenveränderung**

### **2.2.1. Flächenerhalt / vermiedene Entwaldung**

Prinzipiell liegen die Ursachen für Waldflächenverluste in Deutschland i.d.R. außerhalb des Einflussbereichs der Forstwirtschaft (z.B. Flächenbedarf für Siedlungen und Verkehrswege) und sind daher durch forstliche Maßnahmen nicht zu beeinflussen. Nichtsdestotrotz haben Waldflächenverluste einen bedeutsamen Anteil an den Emissionen aus der Waldbewirtschaftung.

### **Erklärung:**

Alleine im Zeitraum 2002-2008 wurden jährlich 5,5 Mio t CO<sub>2</sub> durch Waldflächenverluste (insg. 10.600 ha jährlich, vorwiegend für Infrastrukturnutzungen und landwirtschaftliche Flächen) emittiert. Der höhere Anteil an jährlichen Aufforstungsflächen (23.400 ha/a) konnte im gleichen Zeitraum allerdings nur etwa 2,1 Mio t CO<sub>2</sub> binden. Hieraus ergibt sich ein Nettoverlust von 3,4 Mio t CO<sub>2</sub>/a trotz eines Netto-Flächengewinns von 12.800 ha/a. Abbildung 6 erklärt Waldflächenverluste und –gewinne in Deutschland zwischen 1988 und 2002.



**Abbildung 6:** Waldflächenverluste in Deutschland (alte Länder) zwischen 1988 und 2002 nach der BWI 2.

#### **Beurteilung:**

Durch den Verlust von Waldflächen zugunsten anderweitiger Entwicklungsziele werden im Schnitt 5,5 Mio t CO<sub>2</sub> jährlich emittiert. Diese Waldflächenverluste sind allerdings nicht durch forstliche Maßnahmen zu verhindern.

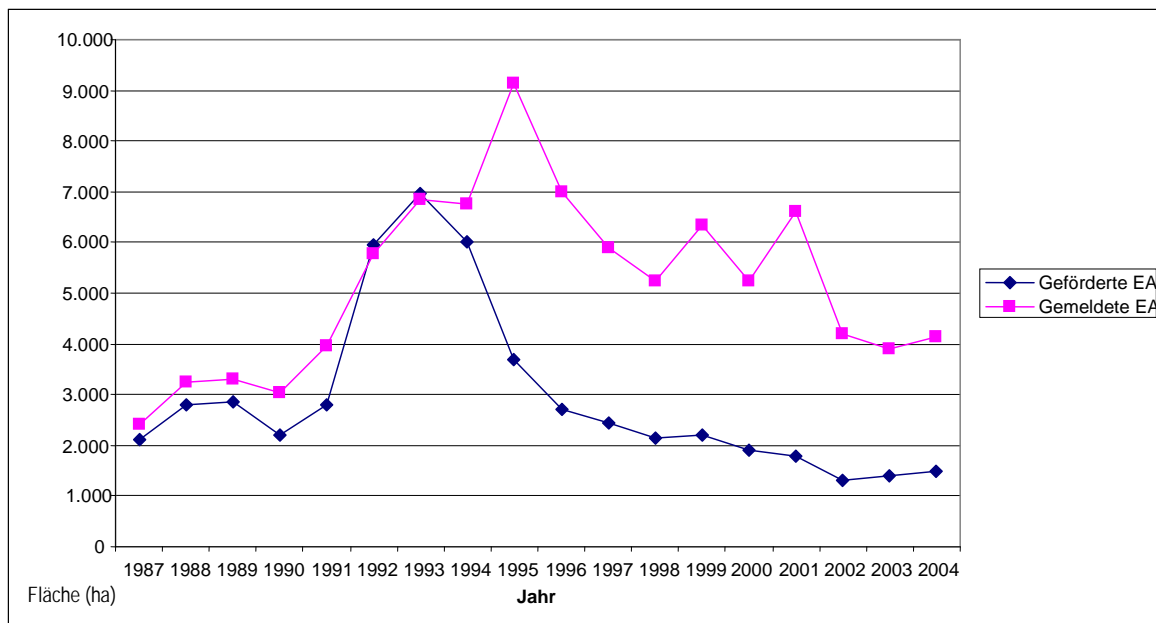
#### **2.2.2. Aufforstung**

Aufforstungen führen zu der Erweiterung des C-Speichers wie auch der Senkenleistung und sind prinzipiell die effektivste Maßnahme für eine zusätzliche Sequestrierung (auf mineralischen Standorten). Leider aber stehen Aufforstungsvorhaben zumeist gewinnbringendere Nutzungsinteressen gegenüber, bzw. würden die Möglichkeit solcher in Zukunft erschweren.

#### **Erklärung**

Insbesondere **landwirtschaftliche Grenzertragsflächen** stellen grundsätzlich ein Flächenpotential für Erstaufforstungen dar, dessen Mobilisierbarkeit in der Vergangenheit allerdings stark überschätzt worden ist. Die geförderten Erstaufforstungen übertrafen in Deutschland lediglich Anfang der Neunziger Jahre über 5.000 ha/a und sind seitdem- insbesondere seit der Jahrtausendwende - auf unter 2.000 ha/a zurückgegangen. Auch wenn man die von den Ländern gemeldeten Zahlen außerhalb der GAK-Förderung mit einbezieht, beträgt die verbuchte Aufforstungsfläche auf landwirtschaftlichen Grenzer-

tragsflächen der letzten Jahre lediglich etwa 4.000 ha/a (Setzer 2006; vergl. Abbildung 7).



**Abbildung 7:** Beitrag der Erstaufforstungsförderung zur Waldmehrung<sup>33</sup>.

Aus Sicht der Grundeigentümer stehen einer Erstaufforstung mehrere Hindernisse entgegen. Nach den empirischen Ergebnissen verschiedener Befragungen sind dies nicht nur die hohen Anfangsinvestitionen, die zumindest für künstliche Bestandesbegründungen typisch sind. Hinzu kommen die generell geringere Rentabilität forstwirtschaftlicher Produktion sowie der Verlust der Dispositionsfreiheit über die Bodennutzung aufgrund des Walderhaltungsgebotes im Bundeswaldgesetz. Solchen ökonomischen Hindernissen wird zwar durch die Förderung begegnet; im „Subventionswettlauf“ mit der landwirtschaftlichen Bodenbewirtschaftung ist die forstliche Nutzung jedoch unterlegen. Für landwirtschaftliche Flächen liegt eine Nutzung zur Nahrungsmittel- oder auch zur Bioenergieproduktion auf der Hand.

Aus der Tatsache, dass 2008 erstmals die obligatorische Flächenstilllegung der EG ausgesetzt wurde, lassen sich erhebliche Anreize erkennen, die landwirtschaftliche Nutzung beizubehalten. Dazu kommt, dass potentiell rentablere Alternativnutzungen landwirtschaftlicher Flächen gegenüber der forstlichen Flächennutzung auch rechtlich begünstigt werden – namentlich die Anlage von Kurzumtriebsplantagen auf Stilllegungsflächen, die nicht dem Umwandlungsvorbehalt des Bundeswaldgesetzes unterliegt (BMELVBBG

<sup>33</sup> Setzer F, 2006: Verlangt die Europäische Union einen Paradigmenwechsel in der forstlichen Förderung? Forst und Holz 61 (2), S. 47-50

Art.62a §1 Abs.1 Nr.1)<sup>34</sup>. Dieser Wettbewerbsnachteil wird sich zukünftig weiter verschärfen, falls im Zuge einer Novellierung des BWALDG Kurzumtriebsplantagen und sonstige Agroforstsysteme generell vom Geltungsbereich des BWALDG – und damit auch von dessen Rodungsvorbehalt – ausgenommen werden (vgl. Deutscher Bundestag, Plenarprotokoll 16/138, Anlage 2)<sup>35</sup>. Insgesamt kann festgehalten werden, dass eine deutliche Ausweitung der bisherigen jährlichen Erstaufforstungsfläche landwirtschaftlicher Flächen auch aufgrund institutioneller Hemmnisse kaum realisierbar erscheint.

Außerhalb der landwirtschaftlichen Flächen stehen auch **weitere Flächenreservoirs** zur Verfügung, insbesondere ehemalige Braunkohletagebauflächen, urbane und suburbane Brachen wie auch ehemalige Militärflächen. Für die Tagebaurekultivierung wurde ein Flächenpotential von über 60.000 ha ermittelt, das in absehbarer Zeit zu rekultivieren ist; dazu kommen stadtbegleitende Brachflächen in einer Größenordnung von grob etwa 100.000 ha sowie ehemalige Militärflächen in etwa der gleichen Größenordnung<sup>36</sup>. Für diese Flächen stellt sich die Frage nach ihrer zukünftigen Nutzung. In vielen Fällen kann dies auf Wiederbewaldung (durch Aufforstung oder Sukzession) hinauslaufen. Auch für diese „sonstigen“ Flächen existieren aber i.d.R. Nutzungsalternativen. Bei den unterschiedlichen Rekultivierungsflächen kommen teilweise gewerbliche Nutzungsmöglichkeiten ins Spiel, teilweise auch Flächennutzungen für den Naturschutz oder für Anlagen zu Erholungszwecken. Die Wahl zwischen diesen Möglichkeiten hängt stark von der jeweiligen Eigentümerzielsetzung ab – davon, ob Produktions- oder Wiederherstellungsziele dominieren, und inwieweit öffentliche Belange in die Zielsetzung einfließen. Da Produktionsziele hier eher die Ausnahme darstellen, existieren kaum ökonomische Hebel, um in diesem Bereich die Aufforstungstätigkeit wirksam zu steigern<sup>37</sup>.

Ähnliches gilt auch für das Flächenpotential durch Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen, welche den Flächenverbrauch durch die Siedlungs- und Verkehrsentwicklung kompensieren sollen und die heute primär unter Naturschutzgesichtspunkten gestaltet werden. Der entsprechende Flächenumfang wird auf etwa 40.000 ha/a geschätzt<sup>38</sup>. Eine stärkere Berücksichtigung des Aspekts der Kohlenstoffbindung könnte auch bei diesen Flächen Aufforstungen begünstigen; die Entscheidungen darüber unterliegen aber weniger ökonomischen als politischen Kalkülen.

---

<sup>34</sup> Gesetz zur Bereinigung des Bundesrechts im Zuständigkeitsbereich des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz vom 13.4.2006, BGBl.I S.855

<sup>35</sup> Stenographischer Bericht der 138. Sitzung des Deutschen Bundestages, 16. Wahlperiode, v.23.1.2008 – Antwort der Parl. Staatssekretärin Ursula Heinen –. <http://dip.bundestag.de/btp/16/16138.pdf>

<sup>36</sup> Elsasser P, 2008: *Neuwaldbildung durch Sukzession: Flächenpotentiale, Hindernisse, Realisierungschancen*. Hamburg: von-Thünen-Institut. Arbeitsbericht OEF 2008/5.

<sup>37</sup> Zudem können für den Bereich der „sonstigen“ Flächenreservoirs weder Bestandesbegründungs- noch Opportunitätskosten hinreichend eingegrenzt werden.

<sup>38</sup> Wagener F, 2009: Wald – Flächennutzungsalternativen: Landschaft wieder mehr in Nutzung nehmen und Vielfalt durch Landbau steigern. In: Seintsch, B.; Dieter, M. (Hrsg.): *Landbauforschung*. Braunschweig: vTI Sonderheft 327, S. 111-122

**Beurteilung:**

Ein geschätztes Flächenreservoir von vermutlich 260.000 ha (Elsasser 2008) und jährliche Flächeverfügbarkeit durch Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen ca. 40.000 ha/a bieten ein erhebliches Potenzial für Aufforstungen und damit zusätzlichen Senkenleistung: Der durchschnittliche Zuwachs an Biomasse auf den Erstaufforstungsflächen kann näherungsweise mit etwa 16,5 tCO<sub>2</sub>/ha/a veranschlagt werden<sup>39</sup>, dies ergibt alleine für 40.000 ha Ausgleichs- und Ersatzflächen eine jährliche zusätzliche Senkenleistung<sup>40</sup> von 0,7 Mio t CO<sub>2</sub>. Eine konkurrenzfähige Förderung der Erstaufforstungen könnte diesen Umfang jedoch erheblich erhöhen, bzw. verstärkte Anreize setzen.

---

<sup>39</sup> Zugrundegelegt wurde ein durchschnittlicher Derbholzuwachs aller Baumarten im Hauptbestand von 12,1 Vfm/ha/a (laut BWI 2, [www.bundeswaldinventur.de](http://www.bundeswaldinventur.de)). 1 Vfm (m.R.) entspricht 1,44 m<sup>3</sup> Baumbiomasse. Bei einem mittleren Kohlenstoffgehalt von 26 % sind in 1,44 m<sup>3</sup>BBM 0,3744 t C gespeichert, umgerechnet sind dies 1,3728 t CO<sub>2</sub>.

<sup>40</sup> Bei dieser überschlägigen Berechnung bleibt allerdings außer Betracht, dass die jeweiligen Flächen je nach Ausgangslage auch ohne Aufforstung ggf. Kohlenstoff einbinden würden; in diesem Fall ist die zusätzliche Netto-Kohlenstoffbindung der Aufforstung also geringer, und die Kosten für zusätzliche Kohlenstoffeinbindung folglich entsprechend höher.

### 3. Resultate

#### 3.1. Vergleichender Überblick

Der vergleichende Überblick stellt zusammenfassend die diskutierten Ansätze zur den Potenzialen zur Vermeidung von Emissionen sowie der zusätzlichen Sequestrierung im Wald und daraus resultierenden Fördermaßnahmen in Tabelle 2 dar.

**Tabelle 2:** Vergleichende Bewertung der diskutierten Ansätze. Die Beurteilung umfasst Argumente der Zielführung und auch der Umsetzbarkeit.

Ansatz	Minderungspotenzial		Klimaeffizienz	Beurteilung (+ vs. -)
	< 10 J.	> 30 J.		
Anpassung	gering	hoch	substantiell, bzw. Vorrang	+++ notwendig zur Sicherung der Waldspeicher
Waldmoor-Regeneration	mäßig	hoch	sehr hoch	+++ umfangreiche biodiv. Synergienutzen möglich
verkürzte Umtriebszeit zur erhöhte Holzmobilisierung für energetischen und materiellen Substitution	hoch	hoch	sehr hoch	+++ Marktnachfrage und Substitution muss gefördert werden
Aufforstungen	gering	hoch	sehr hoch	++ Konkurrenz zu anderweitigen Nutzungszielen
Waldumbau	gering	hoch	hoch	++ Investitionsintensiv und anspruchsvoll
Baumartenwechsel und Bestandesverjüngung	gering	hoch	hoch	++ marktabhängig und investitionsintensiv
Totholzanreicherung	mäßig	gering	gering	- nicht zielführend
verlängerte Umtriebszeit	mäßig	gering	nachteilig	-- Gefährdung der Speicher, reduzierte Sequestrierung
Vorratsaufbau, Erhöhung der Bestandesdichte	gering	gering	nachteilig	-- Gefährdung der Speicher, reduzierte Sequestrierung
Nutzungsverzicht	hoch	konträr	konträr	--- gegenläufiger Effekt, Marginalisierung des Minderungspotenzial

Da jedoch jeder Eingriff in bestehende Nutzungsstrategien - welche zumeist ohnehin schon Kompromisse aus verschiedenen Nutzungsinteressen beschreiben - mit weiteren

Zielen abgewogen werden muss, können Aussagen kaum über modellhafte Empfehlungen hinaus getroffen werden.

### 3.2. Empfohlene Fördermaßnahmen

Zusammenfassend müssen lokal und regional verträgliche Lösungen entwickelt werden, die die entsprechenden Standortbedingungen berücksichtigen. Von daher sind außerhalb von umfassenden Modellierungen (z.B. CSWH) oder dezidierten Betrachtungen kaum quantifizierte Aussagen möglich. Die „klimaoptimalste“ Bewirtschaftung eines Bestandes kann nur an diesem detailliert geplant werden. Insbesondere stehen ökonomische Bewertungen noch aus. Generell können die folgenden Punkte genannt werden:

- a) Die **Anrechnung aller Pools** des Forstsektors bildet die Grundlage für eine umfassende Beurteilung, erst hierauf basierend werden Anreize für klima-orientierte Waldbewirtschaftung erschaffen und unterstützt um mögliche Minderungsmaßnahmen zu realisieren<sup>41</sup>.

**Fördermaßnahme:**

Politische Festlegung, Quantifizierung der Pools.

- b) **Nachhaltige Waldbewirtschaftung** unterstützt die Speicherung von atmosphärischem Kohlenstoff und die Substitution fossiler Energieträger und energieintensiver Baustoffe. Jegliche Stilllegung oder Nutzungseinschränkung reduziert die Senkenleistung des Waldes mittel- bis langfristig. Alternative Ziele (z.B. Flächenstilllegung zu Naturschutzziele) müssen diesem Anspruch der Senkenleistung gegenüber abgewogen werden.

**Fördermaßnahme:**

Verstärkte Förderung der Waldbewirtschaftung, Überprüfung von Nutzungsverzichten.

- c) **Organische Böden** erfordern eine gesonderte Betrachtung und bergen im Flächenverhältnis deutliche Minderungspotenziale. Hier besteht ein Einsparungspotenzial durch Renaturierung von ca. 0,64 Mio tCO<sub>2</sub>e jährlich, die eine Nutzungsänderung auf 2,3 % der Waldfläche erfordert.

**Fördermaßnahme:**

Förderung der Wiedervernässung, Ausgleich von Nutzungserschwernissen und Nutzungsverzicht.

---

<sup>41</sup> Prinzipiell ermöglicht erst die umfassende Anrechnung auch eine Beteiligung am sogenannten „freiwilligen Kohlenstoffhandel“ z.B. mit VER Zertifikaten (Voluntary Emission Reduction oder Verified Emission Reduction). Hierdurch könnte eine individuelle oder geschäftliche Orientierung weitere Minderungspotenziale erwirken, bzw. weitere Anreize marktwirtschaftlich basiert werden.

- d) Erst der **Substitutionseffekt** ermöglicht einen effizienten und langfristigen Minderungseffekt und sollte unterstützt und ausgeweitet werden (Bezug zum HWP erlass).

**Fördermaßnahme:**

Förderung der Vermarktung und Nutzung langlebiger Holzprodukte aus heimischem und nachhaltigem Anbau wie auch der Kaskadennutzung.

- e) Orientierung der **Bewirtschaftungsausrichtung** an klimaoptimiertem Management. Eine Orientierung zur Waldreinertragsmaximierung ermöglicht langfristig eine 51 %ig höhere Speicherleistung als z.B. die gewinnmaximierte Bewirtschaftung. Niedrige Erlöse und hohe Bewirtschaftungskosten führen allerdings zu einer höheren Abhängigkeit der Bewirtschaftung an eher kurzfristige Marktsituationen als an langfristiger Planungssicherheit und somit eher zu kurzfristigen Gewinninteressen als langfristig orientierten Optimierungen.

**Fördermaßnahme:**

Förderung einer Waldreinertrag- oder Zielstärken-orientierten Bewirtschaftung durch z.B. Subventionen die die Unternehmerentscheidung beeinflussen.

- f) Ein **Waldumbau und Baumartenwechsel** birgt sowohl Minderungs- als auch Anpassungspotenziale. Generalisierte Quantifizierungen sind allerdings wegen sehr inhomogener Ausgangslagen kaum möglich. Ein Umbau vom Alterklassenwald zu einer Dauerwaldbewirtschaftung (Plenterwald) kann – wo möglich – eine bis zu 22 % höhere Stammholzernte und damit auch Substitutionsleistung erbringen. Ein Baumartenwechsel zu ertragsreicheren Arten (z.B. Douglasie) kann allerdings eine bis zu 60 %ig höhere Senkenleistung als die durchschnittliche erbringen.

**Fördermaßnahme:**

Überprüfung der Regeln für die Förderung des Waldumbaus und Ausräumen der Förderhindernissen für ertragsstarke Baumarten; Förderung des Baumartenwechsels als ertragssteigernde Maßnahme; enger Bezug zu d) und e).

- g) Eine **Intensivierung** bisher extensiv bewirtschafteter Flächen (z.B. im Kleinprivatwald) kann bisher geringwüchsige oder überstockte Flächen zu einer höheren Senkenleistung mobilisieren. Da Privatwälder ohnehin schon überdurchschnittliche Vorräte aufweisen (6 % über dem Durchschnitt) und hiervon Kleinstprivatwälder (< 20 ha) wiederum den größten Vorrat (20 % über Privatwäldern zwischen 500 und 1.000 ha) aufweisen, kann die Mobilisierung dieser Vorräte und die Intensivierung der Nutzung aufzeigbare Minderungspotenziale erwirken.



**Fördermaßnahme:**

Förderung von Betreuung und forstwirtschaftlichen Zusammenschlüssen für Kleinprivatwälder; enger Bezug zu d), e) und f).

- h) Die **Aufforstung** von nicht forstlich genutzten Flächen kann eine deutliche Senkenleistung bewirken indem sowohl der Speicher als auch die Senkenleistung pro Flächeneinheit erheblich erhöht wird.

**Fördermaßnahme:**

Unterstützung von Aufforstungen als Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen; Überprüfung des Genehmigungsvorbehalts für die Rückumwandlung landwirtschaftlicher Flächen. Konkurrenzfähigkeit zu anderweitigen Nutzungszielen sollte erhöht werden, was auch durch eine Förderung der Holznachfrage erreicht werden kann (wiederum enger Bezug zu d), e) und f)). Alternativ: Förderung der Anlage von Agroforstsystemen und Agrarholz- bzw. Kurzumtriebsplantagen, Abbau rechtlicher Hindernisse.

### 3.3. Anstehender Forschungsbedarf

- I. Das Verständnis der C-Kreisläufe in Abhängigkeit von Ernte- und Bewirtschaftungsmaßnahmen ist zu vertiefen. Insbesondere die Umsetzungsraten zwischen Totholz, Streu, Humusaufgabe und Kohlenstoff im Boden sind noch nicht ausreichend abgesichert bestimmbar.
- II. Zur Renaturierung organischer und anmooriger Böden besteht grundsätzlicher und umfangreicher Forschungsbedarf.
- III. Erheblicher Forschungsbedarf besteht zudem hinsichtlich der Anpassung der Wälder an den Klimawandel als wichtige Grundbedingung der Erhaltung der C-Speicherleistung von Wäldern (ökologische Grundlageninformationen (Stresstoleranz einheimischer und eingeführter Arten, insbesondere an ihrem klimatischen Verbreitungsrand), Alternative Waldbausysteme und Waldschutz (Schädlingsforschung) Gen-Ausstattung und Anpassung, Dynamisierung von Standortkartierung und Bestockungszieltypen). Zusätzlich muss das forstliche Umweltmonitoring weitergeführt und erweitert werden, um dringend benötigte Grundlageninformationen zur Klimawirkung und Baumanpassung zu erhalten.
- IV. Die Konsequenzen von Waldumbau und veränderten Bewirtschaftungsstrategien auf die Speicherleistung sind bisher nur modellhaft darzustellen. Hierzu müssen weiterhin spezifizierte Untersuchungen vorgenommen werden um konkretere Aussagen und Quantifizierungen treffen zu können.